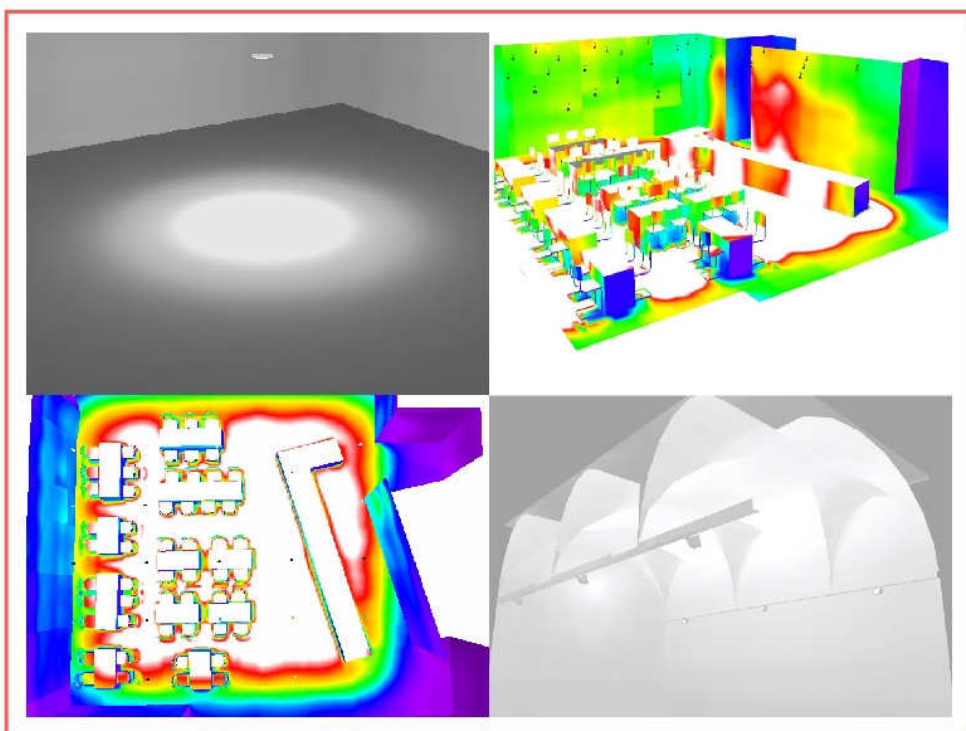




Università degli Studi di Napoli Federico II
Facoltà di Ingegneria

***CONFRONTI TRA L'ILLUMINAZIONE LED
E LE ALTRE TECNOLOGIE DI
ILLUMINAZIONE IN COMMERCIO***



TUTOR:

Prof. Ing. Renato Iovino

DOTTORANDA:

Arch. Annita Corbosiero

Coordinatore: Prof. Ing. Luciano Rosati

Dottorato in Ingegneria delle Costruzioni

Indirizzo: Recupero edilizio ed innovazione tecnologica

XXIV CICLO

*Università degli Studi di Napoli
Federico II*



Arch. Annita Corbosiero

CONFRONTI TRA L'ILLUMINAZIONE LED
E LE ALTRE TECNOLOGIE DI
ILLUMINAZIONE IN COMMERCIO

*Tesi di Dottorato
XXIV ciclo*

*Il Coordinatore
Prof. Ing. Luciano Rosati*

*Il relatore
Prof. Ing. Renato Iovino*

Dottorato di Ricerca – Ingegneria delle Costruzioni

Sommario

<i>Premesse e Finalità del presente studio</i>	<i>1</i>
<i>Capitolo 1:L'illuminazione led</i>	<i>2</i>
1.0 Caratteristiche delle tecnologie di illuminazione in commercio.	<i>2-7</i>
1.1 Tipologie di apparecchiature a led e resa luminosa.	<i>7-9</i>
1.2 Confronti energetici e di resa luminosa tra tecnologie paragonabili.	<i>9-12</i>
1.3 Sorgenti luminose, apparecchiature illuminanti e loro manutenzione.	<i>13-14</i>
1.4 Le sorgenti luminose a led per esterno e loro vita utile.	<i>15-18</i>
1.5 I fattori che influenzano gli apparecchi di illuminazione stradale a led.	<i>18-21</i>
1.6 Rendimento degli apparecchi luminosi per esterno a led.	<i>22-23</i>
1.7 Applicazione del sistema led all'esterno: l'esempio di Torraca.	<i>23-24</i>
<i>Capitolo 2:Tecnologia e standardizzazione</i>	
2.0 Il consorzio Zhaga per la standardizzazione dei led.	<i>25</i>
2.1 Rapporti tra sorgenti luminose e confronti energetici.	<i>26-27</i>
2.2 I settori di applicazione dei sistemi a led.	<i>27-28</i>
2.3 Apparecchiature a led di ultima generazione.	<i>29-31</i>
<i>Capitolo 3:La normativa nel settore dell' illuminazione</i>	
3.0 La normativa vigente in tema di illuminazione – Confronti tra norme.	<i>32-34</i>
3.1 Il quadro normativo sull'illuminazione nei luoghi di lavoro.	<i>35-36</i>
3.2 La normativa sull'illuminazione stradale.	<i>36-41</i>
3.3 La norma UNI 11248 adottata dall'Italia.	<i>41-43</i>
<i>Capitolo 4:Applicazioni illuminotecniche</i>	
4.0 Applicazione: Studio dei lux sviluppati dalle diverse tecnologie di illuminazione in commercio all'interno di una sala-ristorante.	<i>44</i>
4.1 Applicazione n°1 con software di calcolo (dialux): impianto costituito da fari da incasso con lampada alogena.	<i>45-48</i>
4.2 Applicazione n°2 con software di calcolo (dialux): impianto costituito da fari da incasso cablati a led.	<i>49-52</i>
4.3 Applicazione n°3 con software di calcolo (dialux): impianto costituito da fari da incasso con reattore elettronico incluso e lampada a fluorescenza.	<i>53-56</i>
4.4 Applicazione n°4 con software di calcolo (dialux): impianto costituito da fari da incasso con reattore elettronico incluso e lampada ai ioduri metallici.	<i>57-60</i>
<i>Capitolo 5:Analisi costi-benefici delle simulazioni effettuate</i>	
5.0 Proiezione annuale dei consumi dell'impianto alogeno : analisi costi – benefici	<i>61-62</i>

5.1 Proiezione a 10 anni dei consumi dell'impianto alogeno: analisi costi – benefici.	63-65
5.2 Proiezione annuale dei consumi dell'impianto led: analisi costi - benefici.	66-67
5.3 Proiezione a 10 anni dei consumi dell'impianto led: analisi costi – benefici.	68-70
5.4 Proiezione annuale dei consumi dell'impianto a fluorescenza: analisi costi – benefici.	71-72
5.5 Proiezione a 10 anni dei consumi dell'impianto a fluorescenza: analisi costi – benefici.	72-74
5.6 Proiezione annuale dei consumi dell'impianto agli ioduri metallici: analisi costi – benefici.	75
5.7 Proiezione a 10 anni dei consumi dell'impianto agli ioduri metallici: analisi costi – benefici.	76-78
<i>Capitolo 6:Conclusioni</i>	79
<i>Allegato Norma Uni 12464</i>	80-92
<i>Bibliografia</i>	94
<i>Un pensiero...</i>	94-95

A mio padre Leonardo

che mi ha insegnato la passione per lo studio e la gioia per la vita, aggiungendoci... sarai chiamata "dottore" nel mondo solo se avrai il "dottorato di ricerca"...

A mia madre Emma

che mi ha insegnato e generosamente dato la praticità, la tenacità e la forza, standomi vicino tutti i giorni della mia vita...

Premesse e Finalità del presente studio

Nel presente studio si affronteranno le problematiche di applicazione legate alla scelta delle migliori tecnologie di illuminazione per differenti settori; da quello domestico a quello commerciale, da quello stradale a quello museale. Spesso l'innovazione tecnologica è sinonimo di strategie all'avanguardia per rendimenti ottimali che comportano, allo stesso tempo, un risparmio energetico delle risorse. La mera applicazione di tali sistemi, però, pone delle problematiche: non sempre, infatti, la complessità può comportare dei miglioramenti senza far sorgere questioni inerenti la giusta applicazione dei sistemi innovativi. In parte è il rispetto della normativa che detta l'obbligatorietà di alcune applicazioni rispetto ad altre, in parte le scelte sono dettate dalle necessità pratiche, in parte dalle scelte di tipo progettuale ed economico. Vari sono i fattori che entrano in gioco in campo illuminotecnico e grande risulta a volte lo scarto tra i prodotti messi in commercio e la loro applicazione, sembra quindi la progettazione lo strumento più importante per ottenere gli effetti attesi.

La selezione dei sistemi avviene in maniera naturale, un po' dettata dalle regole del mercato, un po' dalle esigenze che nascono, considerando anche che trovare apparecchi che offrono caratteristiche illuminotecniche avanzate e presentano costi contenuti non è affatto un'impresa semplice. Nel corso della presente trattazione verranno analizzati principalmente i sistemi di illuminazione a led confrontandoli con sistemi tradizionali per comprendere se alcuni sistemi sono applicabili meglio a determinate funzioni rispetto ad altre.

Fondamentale è anche l'adozione, da parte di alcune regioni italiane, di indicazioni per il contenimento dei consumi energetici, cosa che indirizza il progettista verso l'elaborazione di calcoli illuminotecnici specifici a seconda delle esigenze della committenza.

1.0 CARATTERISTICHE DELLE TECNOLOGIE DI ILLUMINAZIONE IN COMMERCIO

Con la sigla LED “Light Emitting Diode”(diodo ad emissione luminosa) si intende un chip costituito da materiale semiconduttore che emette luce al passaggio della corrente, dopo essere stato opportunamente drogato mediante altri materiali. Per drogaggio dei semiconduttori si intende l'aggiunta a questi di piccole percentuali di atomi, non facenti parte del semiconduttore stesso, allo scopo di modificare le proprietà elettriche del materiale aumentandone la conducibilità.

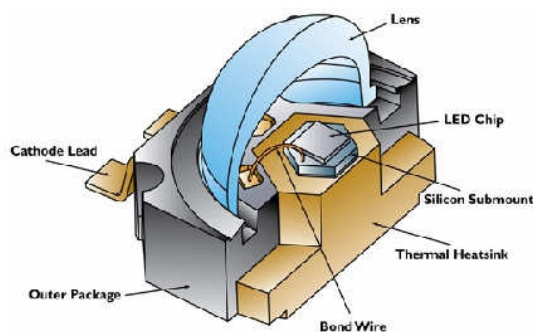
I led possono essere di varie tipologie:

- SMD sono indicatori e vengono utilizzati nei display;
- 5mm con package vengono utilizzati come led di segnalazione;
- High Power vengono utilizzati nell'illuminazione.

I parametri che caratterizzano i LED sono vari:

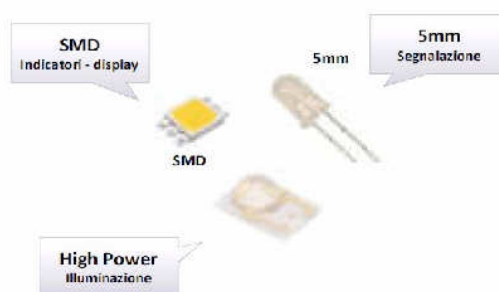
- **corrente diretta:** il valore della corrente necessaria al diodo per ottenere l'intensità luminosa richiesta e si misura in mA.
- **tensione diretta:** è la tensione presente tra i due elettrodi del led, positivo e negativo quando è attraversato dalla corrente diretta; nella maggior parte dei LED è compresa tra 1,5 e 3V per led normali e da 3V a 5V per led ad alta luminosità HI. La tensione diretta dei led varia anche a seconda del colore.

- **temperatura di colore:** a seconda della temperatura di colore il led emette una luce che varia dal giallo (luce calda) al bianco (luce fredda) come riportato nella successiva scala cromatica. In realtà un diodo led, all'inizio della sua vita nominale, emette luce bianca tendente al blu 6000K. L'aggiunta di fosfori, come nella lampada led bulb della Philips, comporta il passaggio dai 6000K ad una colore di luce tendente al giallo. In questo caso infatti i led sono racchiusi all'interno di elementi gialli costituiti da



(Figura 1/2 – Diodo led HI con lente e tipi di led)

Tipologie di LED



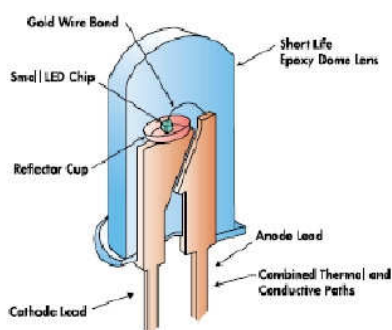
fosfori che possono essere staccati dal supporto. Una volta rimossi, la luce emessa, è una luce di tipo bianco tendente al blu, dopo l'applicazione dei cappucci gialli, la lampada emette una luce tendente al giallo.



(Figura 3– Lampada a led di ultima generazione con cappucci di fosforo per emissione di luce gialla)



- **flusso luminoso:** quantità di luce emessa in tutte le direzioni; il flusso luminoso dei LED è in relazione alla sua potenza in condizioni di esercizio. Di solito un led ad alta emissione e con temperatura di colore sui 6000K, corrente diretta a 300mA e temperatura ambientale di 25°C, all'inizio della sua vita nominale emette circa 80-100lm.
- **efficienza:** è la relazione tra l'intensità luminosa e la corrente elettrica utilizzata.
- **vita media:** ore di funzionamento del diodo dalla sua emissione iniziale fino ad un decadimento del flusso luminoso di circa il 30% e generalmente si attesta intorno alle 5000-6000 ore.

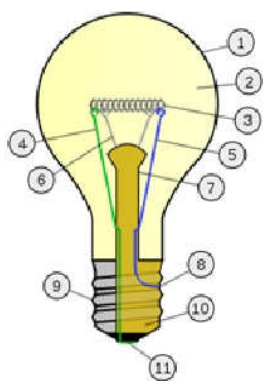


(Figura 4- Configurazione di un led da segnalazione)

Il package è il sistema strutturale che circonda il chip e presenta un polo positivo ed uno negativo. Tali dispositivi infatti necessitano di una corrente pilotata in un unico verso a differenza delle altre tecnologie in commercio che funzionano mediante tensione diretta. Viene quindi posta in serie al LED una resistenza per limitare la corrente per una data tensione di alimentazione che scorre all'interno del circuito. Dato che il passaggio della corrente all'interno dei diodi comporta una perdita di energia per effetto Joule, l'alimentatore risulta essere un limite per le prestazioni del

LED, in quanto l'intensità della corrente, quindi la quantità di luce emessa, è vincolata al surriscaldamento dei componenti. I dispositivi messi in commercio di ultima generazione accolgono dei dissipatori termici per smaltire il calore prodotto nel passaggio della corrente.

Per il settore illuminotecnico, l'utilizzo di lampade a led o di sistemi led in campo domestico e commerciale, in sostituzione di lampade agli ioduri od alogenuri metallici, alogene oppure a fluorescenza, comporta un risparmio energetico rilevante, anche se, nel settore commerciale, il limite del sistema fondamentale, è la quantità di luce emessa, che nei modelli di nuova generazione, si aggira attorno ai 120-150 lm. I led danno la possibilità di utilizzare la luce di vari colori, in base alla loro costruzione ed ai valori di tensione e di corrente di alimentazione utilizzati. Il colore del Led per l'illuminazione è classificato in Warm White, Cold White e Dynamic White. I led "Cold White"emettono una luce con temperatura di colore che si aggira attorno ai 6000K quindi una luce bianca (fredda) molto indicata per applicazioni esterne. I led "Warm white"emettono una luce più calda (gialla) con una temperatura di colore media intorno ai 3000K. Tali valori li portano ad essere molto indicati per applicazioni d'interno ed ovunque ci sia necessità di evidenziare colori in maniera brillante. Dalla miscelazione di queste tecnologie nasce il Dynamic White che permette di ottenere temperature di colore che variano dai 3000K ai 6000K; questa tipologia può essere utile in ambienti commerciali che ricercano la valorizzazione della merce esposta.



(Fig 5- Lampada incandescente)

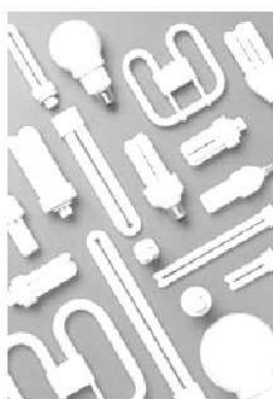
Nelle lampadine ad incandescenza, la luce viene prodotta dal riscaldamento fino a 2700K di un filamento di tungsteno attraversato dalla corrente elettrica. Questa tecnologia comporta che solamente un 5% dell'energia viene trasformata in luce, mentre la restante parte si disperde in calore. Presentano inoltre una bassa efficienza luminosa (8-15 lm/W) ed una vita limitata rispetto alle altre lampade in commercio; durante il funzionamento il tungsteno evapora ed il filamento diventa molto sottile, fino a spezzarsi intorno alle 1000-1500 ore di funzionamento. I vantaggi di tali lampade sono nella facilità di utilizzo e nell'accensione immediata; non sono infatti necessarie apparecchiature ausiliarie per tale accensione, nonché il costo risulta molto contenuto.

Le lampade alogene andranno a sostituire quelle ad incandescenza: la Commissione ambiente del Parlamento europeo ha stabilito che per legge, a partire dal 2009 fino al 2012 verranno progressivamente eliminate dal mercato le lampade ad incandescenza tradizionali a favore di lampade a risparmio energetico; ciò non comporterà l'eliminazione delle lampade alogene che presentano buoni valori di efficienza energetica.



(Fig 6- Lampada alogena)

La differenza con le lampade ad incandescenza sta nell'aggiunta di iodio, kripton o xeno che, oltre a permettere un riscaldamento del filamento fino a 3000K, comporta anche una reazione con il tungsteno che evapora. Quando il miscuglio di gas rientra in contatto con il filamento incandescente si decompone facendo depositare nuovamente il tungsteno sul filamento e creando un ciclo continuo che ne allunga la vita. La durata di tali lampade è molto spesso doppia rispetto a quelle ad incandescenza con uno sviluppo luminoso maggiore in termini energetici, cioè pari a 16/25 lm/W avendo un costo di poco superiore e sviluppando una temperatura di colore maggiore.



(Fig 7- Lampada fluorescente)

Le lampade fluorescenti sono costituite invece da un tubo in vetro variamente sagomato al cui interno viene prima praticato il vuoto e poi viene introdotto un gas (neon, argon, xenon o kripton) a bassa pressione ed una piccola quantità di mercurio liquido che evapora e si meschia al gas. Per accendersi ed arrivare al massimo sviluppo luminoso hanno bisogno di un tempo di pochi minuti nonché di una tensione di innesco elevata che si crea grazie ad uno starter assieme ad un dispositivo che limiti la corrente di funzionamento, cioè il reattore. Possiedono un'efficienza maggiore rispetto alle lampade precedenti che si aggira attorno ai 40/90 lm/W, così come la loro vita nominale risulta maggiore anche se fortemente influenzata dal numero di accensioni. Il valore che viene fornito dalle case costruttrici è calcolato con cicli di accensione di otto ore che oscilla tra le 12-15000 ore delle lampade tubolari alle 5-6000 ore delle lampade compatte. Si deve anche considerare che questo tipo di lampade soffrono di un decadimento luminoso con il passare delle ore di funzionamento e quindi l'efficienza luminosa cambia con il passare delle ore.

In termini di consumi energetici le lampade di tipo alogeno che utilizzano una corrente a 220 o 230V, consumano il max della potenza per cui sono state progettate, ma rendono una pari luminosità; le lampade fluorescenti rendono infatti circa 2 o 3 volte in più rispetto al max wattaggio per il quale sono state progettate anche se tale resa luminosa è dipendente, come abbiamo visto, da una serie di fattori tra cui il numero di accensioni, comportando dopo ore di funzionamento, un decadimento della loro emissione luminosa. La tecnologia delle lampade a scarica è costituita da sistemi che generano radiazione elettromagnetica da parte di un plasma di gas ionizzato; la ionizzazione del gas avviene attraverso una scarica elettrica. I gas si possono trovare o a bassa o ad alta pressione; di solito il gas contenuto in tali lampade può essere mercurio o sodio. In tal caso la lampada non è subito utilizzabile, cioè è necessario che il materiale evapori o sublimi per effetto del calore prodotto dalla scarica nel gas accessorio risultando



quindi necessari diversi minuti perché la lampada inizi a produrre una luce accettabile. L'introduzione nelle lampade ai vapori di mercurio o di sodio ad alta pressione di ioduri metallici o alogenuri metallici (iodio, tallio, indio, disosio, olmio, ecc) migliora la resa cromatica delle lampade al sodio e conferisce una temperatura di colore pari ai 4000-5000K.

Di solito, le lampade agli ioduri metallici, vengono utilizzate in ambienti in cui è prevista l'accensione dei corpi illuminanti per varie ore con un considerevole risparmio energetico. I campi di applicazione, che siano a luce gialla o bianca, sono essenzialmente l'illuminazione stradale e quella

(Fig 8 Lampada agli ioduri) commerciale, anche se le caratteristiche di tali lampade variano a seconda del loro tipo di funzionamento e dell'apparecchio che ne controlla il flusso, quindi vanno precedentemente verificate per il preciso compito visivo che devono svolgere. Mentre la luce diffusa, tipica delle lampade fluorescenti, è la più indicata per illuminare ambienti interni, quella agli ioduri metallici trova in genere largo utilizzo negli ambienti esterni che siano parcheggi, strade o giardini possedendo un'efficienza molto alta, di circa 10 volte superiore alle lampade ad incandescenza. Inoltre, se utilizzate nella modalità corretta, cioè senza eccessivi spegnimenti ed accensioni, hanno una lunga durata di vita che si aggira intorno alle 8000 – 10000 ore. La loro caratteristica è di realizzare fasci luminosi abbastanza concentrati che ne permettono l'utilizzo, in particolare, all'interno di proiettori. Le lampade agli ioduri metallici non sono adatte a quegli ambienti interni (come quelli domestici o in uffici) in cui c'è necessità di un'accensione immediata oppure c'è bisogno di una luce diffusa adatta ad un ambiente di lavoro che necessita di



(Fig 9 - Esempi di lampade alogene e lampade a led con attacco a tensione di rete)

concentrazione. Dalle lampade ad incandescenza, che verranno a breve eliminate dal commercio, a quelle alogene, alle lampade a scarica, alle lampade a fluorescenza fino all'applicazione dei diodi led, l'illuminotecnica si trova a confrontare i prodotti in commercio con le necessità delle molteplici

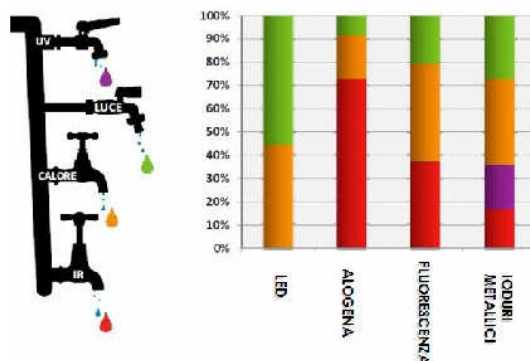
applicazioni per trovare, in base alle offerte del mercato e delle tecnologie attualmente disponibili, quale sia l'impiego migliore in relazione ad una previsione costi-benefici di tipo essenzialmente tecnico e normativo.

La problematica fondamentale risulta quella di comprendere quale tecnologia di illuminazione può essere più adatta nei vari settori di applicazione che spaziano da quello domestico, a quello commerciale fino all'illuminazione per esterni. La questione non è di semplice soluzione in quanto l'applicazione, dovuta alle differenti esigenze di illuminazione cioè alle varie destinazioni d'uso, non si basa solo sulla mera scelta di una o dell'altra tecnologia per rispettare lo sviluppo di lux dettati

dalla normativa europea e nazionale, ma da una serie di parametri coinvolti. Insomma il passaggio dall'applicazione dell'elemento tecnico messo in commercio, alla sua effettiva resa, vede il coinvolgimento di altri e molteplici parametri come le dimensioni degli spazi da illuminare, le tipologie di attività previste, l'altezza degli ambienti, la distribuzione degli arredi, l'assetto geometrico dei luoghi, la necessità di ottenere determinati effetti. Tali parametri comportano una difficile generalizzazione dell'applicazione di una tecnologia rispetto ad un'altra; vedremo nel corso del presente studio che, in realtà, le tecnologie attualmente disponibili, il rispetto delle normative e ad un'analisi costi-benefici, comporta l'esclusione di determinate applicazioni ed una sorta di standardizzazione di alcune tecnologie rispetto ad altre per scopi prefissati.

1.2 TIPOLOGIE DI APPARECCHIATURE A LED E RESA LUMINOSA

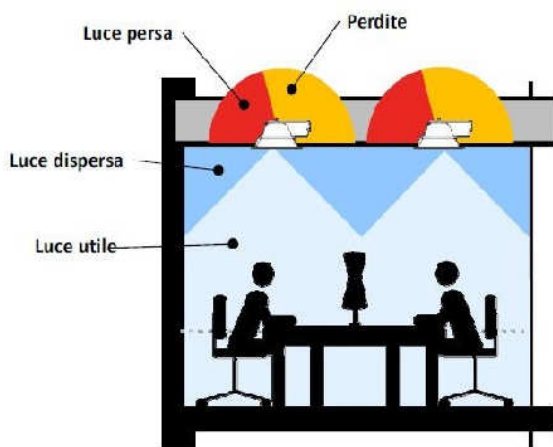
Da uno studio illuminotecnico effettuato dalla Philips, analizzando le valutazioni energetiche sulle emissioni luminose delle tecnologie in commercio, si sono eseguiti degli studi legati alla relazione tra la potenza di luce emessa e l'energia dissipata sotto forma di calore. Il led presenta l'emissione luminosa migliore infatti circa il 45% di energia si dissipa sotto forma di calore mentre circa il 55% viene restituito in forma di luce pura. L'alogeno presenta una bassa resa luminosa, circa 8%-10% si trasforma in luce mentre parte viene emessa sottoforma di calore e la maggior parte viene restituita come radiazione infrarossa, motivo per cui la lampada alogena dà alla vista una sensazione di brillantezza producendo anche molto calore. La lampada a fluorescenza presenta una buona emissione luminosa circa il 20% ed una dispersione in calore di poco più del 40%. Le lampade agli ioduri o alogenuri metallici sviluppano un'emissione luminosa pari circa al 30% dell'energia somministrata ed una dispersione in calore di circa il 35%-40% emettendo anche radiazioni infrarosse e raggi ultravioletti che non sono evidenti ad occhio nudo ma che comportano comunque lo sviluppo di una resa luminosa elevata.



(Fig 10 – Fonti energetiche e resa luminosa)

Per stimare un'efficienza reale del led dobbiamo far riferimento anche alla tipologia di luce che viene sviluppata dai singoli diodi.

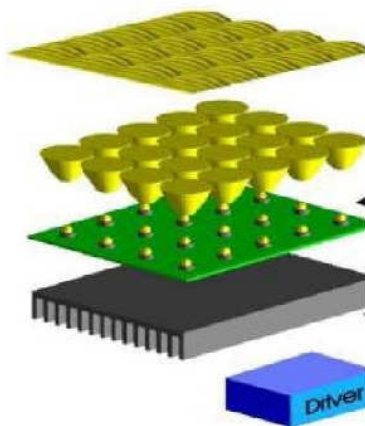
(Fig 11 – La luce utile del sistema led)



Questi ultimi infatti emettono una luce netta – utile che comporta una resa verso il basso elevata con una scarsa emissione di luce dispersa verso l'alto assieme ad una piccola dispersione sottoforma di calore. Le apparecchiature a diodi led possono essere molteplici e composte in vari modi; analizziamo le diverse configurazioni individuando le soluzioni di resa luminosa maggiore. La tecnologia led può essere composta da fari ed alimentatore con aggiunta di lampadine a led

oppure di apparecchiature più complesse costituite da una piastra su cui sono posizionati i diodi ad alta emissione. Precisamente i fari già cablati a led sono costituiti dai seguenti elementi:

- sistema meccanico di protezione dall'acqua e dalle polveri;
- una lente per direzionare il fascio luminoso;
- una piastra su cui saldare i diodi led;
- sistemi di dissipazione del calore (piastre);
- alimentatore (driver).



(Fig 12 – Scomposizione di un sistema led)*(Fig 13/ 14 – Scomposizione di un faro già cablato a led)*

1.3 CONFRONTI ENERGETICI E DI RESA LUMINOSA TRA TECNOLOGIE PARAGONABILI

In termini di consumo energetico del ciclo produttivo, le lampade a LED sono lampade a risparmio di energia che superano di gran lunga le tradizionali lampade ad incandescenza, come emerge da un recente studio condotto dalla OSRAM assieme agli esperti della Simes Corporate Technology. Lo studio ha evidenziato la riduzione dei costi di produzione di lampade a led rispetto al passato grazie allo sviluppo della produzione in silicio cosa che ne ha comportato un abbattimento nei costi di produzione e quindi di immissione sul mercato rispetto al passato, facendole diventare un prodotto commerciale. Viene confrontata l'efficienza luminosa di lampade a tecnologia differente.

Si considera quindi un ambiente di circa 25mq pitturato con colori chiari e costituito da un pavimento chiaro, completamente buio e recante fari posizionati all'altezza di 1,20 m da terra ed eseguiamo una simulazione sia mediante luxometro che mediante software di calcolo:

- faro con lampada alogena;
- faro con lampada fluorescente;

- faro già cablato a led (apparecchiatura costituita da una piastra su cui sono posizionati i diodi led);
- faro con lampada agli ioduri metallici.

Di seguito vengono riportate le schede delle apparecchiature analizzate:

Tipologia di apparecchio	faro + alogena	 	<div> <div>Generalità</div> <div>Descrizione</div> <div>Dati tecnici</div> </div> <div> Emissione luminosa 1 Lampadine: OSRAM 46870 WFL Flusso luminoso: 1028 lm Potenza: 50.0 W Fattore correzione: 1.000 </div> 
Flusso luminoso	1028 lm		
Temperatura di colore	2700 K		
Potenza nominale	50 W		
Lux sviluppati perpendicolarmente alla lampada	2900 lux		
Lux medi Em	36		

(Fig 15 - faro iGuzzini con trasformatore elettronico e lampada alogena OSRAM 50W- fascio di apertura 36°)

Tipologia di apparecchio	led		<div> <div>Dati tecnici</div> <div>Colore della luce</div> <div>Rotazioni</div> </div> <div> Emissione luminosa 1 Lampadine: LED Flusso luminoso: 1.000 lm Potenza: 18.0 W Fattore correzione: 1.000 Base correzione: </div> 
Flusso luminoso	1000 lm		
Temperatura di colore	3000 K		
Potenza nominale	18 W		
Lux sviluppati perpendicolarmente alla lampada	1300 lux		
Lux medi Em	36		

(Fig 16 - faro OSRAM già cablato a led – Ledwance downlight 18W)

Tipologia di apparecchio	faro + fluoesc.	 	<div> <div>Generalità</div> <div>Descrizione</div> <div>Dati tecnici</div> </div> <div> Emissione luminosa 1 Lampadine: OSRAM DULUX D 261 Flusso luminoso: 1.600 lm Potenza: 26.0 W Fattore correzione: 1.000 Base correzione: </div> 
Flusso luminoso	1800 lm		
Temperatura di colore	3000 K		
Potenza nominale	26 W		
Lux sviluppati perpendicolarmente alla lampada	900 lux		
Lux medi Em	36		

(Fig 17 - faro iGuzzini con reattore elettronico incluso e lampada a fluorescenza da 26W)

Tipologia di apparecchio	faro + ioduri	 	<div> <div>Dati tecnici</div> <div>Colore della luce</div> <div>Rotazioni</div> </div> <div> Emissione luminosa 1 Lampadine: Definito dall'utente Flusso luminoso: 1.000 lm Potenza: 24.0 W Fattore correzione: 1.000 Base correzione: </div> 
Flusso luminoso	1000 lm		
Temperatura di colore	3000 K		
Potenza nominale	20 W		
Lux sviluppati perpendicolarmente alla lampada	3400 lux		
Lux medi Em	36		

(Fig 18 - faro iGuzzini con reattore elettronico incluso e lampada agli ioduri metallici da 20W)

Dalle misurazioni effettuate con luxometro e dalle simulazioni mediante software dialux bisogna mettere in evidenza che l'illuminamento medio pari a 36 lux in 25mq è comune a tutte le tipologie analizzate, ma che il risultato a livello visivo e di lux sviluppati perpendicolarmente alla fonte luminosa è differente.

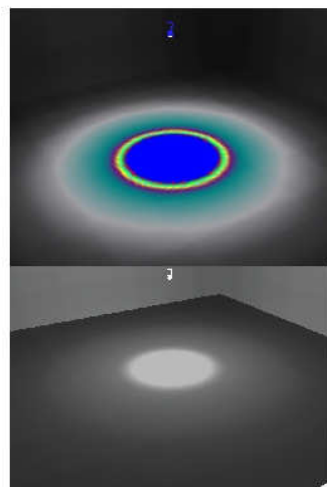
Dalla visualizzazione della proiezione della fonte alogena, si può mettere in evidenza come questa sviluppi un cono molto concentrato (area blu 200 lux) ed un'area di influenza a 50 lux abbastanza ampia (area in verde). Si passa quindi da una luce netta centrale ad una banda più diradata (50 lux) in maniera drastica mettendo in evidenza un passaggio netto di percezione tra ombra e luce tipico dello spot alogeno dicroico. Tale tecnologia sviluppa quindi porzioni concentrate di luce ed effetti di brillantezza netti.

Dall'analisi della simulazione del faro a led si evince un passaggio più graduale tra l'area a 200 lux (in blu) e le altre aree con una graduale diminuzione delle intensità luminose verso l'area a 50 lux (in verde) anche se le bande di luminosità dal centro a 200 lux verso la periferia sono poco ampie comportando anche qui una sensazione di fascio netto di luce, senza una diffusione graduale di luminanza.

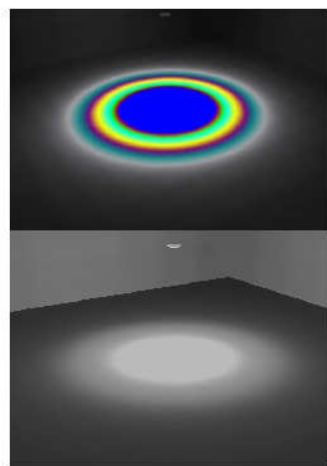
Per quanto concerne le apparecchiature a fluorescenza risulta evidente come la luce si diffonda in maniera abbastanza omogenea: i livelli di luminanza concentrici sono sufficientemente grandi da fornire una sensazione di luce diffusa a partire dai 200 lux dell'area blu fino all'area verde a 50 lux. Proprio l'applicazione della lampada a fluorescenza mette in evidenza come, tale tipo di lampada, diffonda sul piano la luce senza un fascio predefinito.

La sensazione che si ottiene con la lampada agli ioduri od alogenuri metallici è abbastanza simile alla sensazione che si ottiene con una lampada di tipo alogeno, ma l'emissione luminosa locale è certamente maggiore.

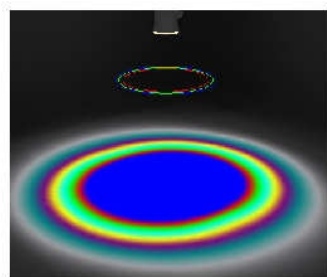
L'area interessata dai 200 lux è maggiore dell'alogena aggiungendo che la lampada agli ioduri è quella che perpendicolarmente al flusso luminoso



(Fig 19 – Simulazione alogena)



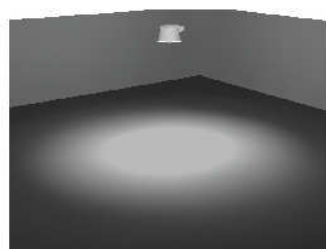
(Fig 20 – Simulazione led)



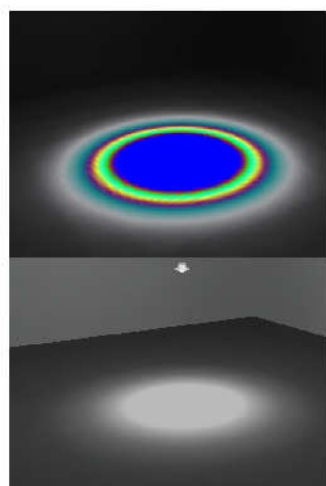
misura i lux maggiori pari a 3400. Inoltre tale lampada prevede anche un passaggio abbastanza graduale tra i 200 ed i 50 lux.

I led presentano vantaggi per l'illuminazione di tipo domestico; le dimensioni ridotte permettono di indirizzare il flusso luminoso direttamente dove desiderato senza particolari parabole ed ottiche, inoltre le ridotte emissioni di calore comportano che tali sistemi possano essere utilizzati in luoghi dove l'impiego di altre tecnologie potrebbe essere

problematico. L'angolo di illuminazione può risultare un vantaggio, ma allo stesso tempo anche uno svantaggio, in quanto c'è bisogno di più corpi illuminanti per ottenere un'illuminazione efficace e diffusa e la luce emessa non risulta diffusa in modo uniforme come nella lampada a fluorescenza ma concentrata in una determinata zona. A livello economico ovviamente i costi iniziali di investimento sono maggiori per i diodi led rispetto alle altre tecnologie in commercio, ma i benefici sono evidenti nel corso del tempo a causa di una quasi totale assenza nella necessità di manutenzione o di sostituzione delle lampade.



(Fig 21 – Simulazione fluorescenza)



(Fig 22 – Simulazione ioduri metallici)

1.4 SORGENTI LUMINOSE, APPARECCHIATURE ILLUMINANTI E LORO MANUTENZIONE

La vasta gamma dei prodotti e delle tecnologie in commercio nel settore dell'illuminazione comporta una loro non semplice classificazione. Bisogna innanzitutto distinguere il corpo illuminante dalla sorgente luminosa: ovviamente un corpo illuminante scadente rimane scadente anche con la migliore sorgente luminosa installata. Ad esempio, nel caso dei sistemi a led, un cattivo alimentatore può compromettere il corretto funzionamento e ridurre drasticamente le aspettative di vita della sorgente luminosa. Dobbiamo comunque specificare che un apparecchio di illuminazione può essere definito come un sistema che distribuisce, filtra o trasforma la luce emessa da una o più sorgenti e che include le parti necessarie per posizionare e proteggere le sorgenti ed i circuiti ausiliari per il loro corretto funzionamento. Possiamo pertanto pensare ad esso come una macchina che cerca, nel miglior modo possibile a livello di rendimento, di trasformare l'energia elettrica in energia luminosa. Se consideriamo ad esempio un'apparecchiatura stradale a led, noteremo che è costituita da una serie di componenti: sistema di protezione atmosferica, lenti ed ottiche, diodi, dissipatore di energia ed alimentatore; tutti elementi che influiscono sul rendimento della sorgente.

Si può notare come in linea di massima non esistono componenti dedicati alla diffusione del flusso luminoso integrati nella carena: il gruppo ottico di un apparecchio di illuminazione a LED è formato dai LED stessi, disposti in vario modo ed eventualmente affiancati da ottiche applicate. Un'altra peculiarità consiste nella presenza di sistemi di dissipazione più o meno consistenti, ubicati generalmente nella parte superiore della carena, indispensabili per ridurre le temperature di esercizio dei diodi. Tali sistemi non sono necessari negli apparecchi con lampade a scarica, in quanto l'ambiente in cui viene alloggiata la lampada è più che sufficiente per una corretta dissipazione. In merito alle diverse tipologie di sorgenti, le lampade in commercio sono differenti a seconda del tipo di applicazione che si deve effettuare. Data la particolare caratteristica dei Led di avere un angolo di emissione predefinito vengono studiati diversi tipi di lampade in base alle applicazioni. Bisogna infatti fare una distinzione tra lampade "spot" e lampade a bulbo; le prime con un angolo di emissione stretto ma ovviamente con valori di efficienza elevati, le seconde con una luce più distribuita, ma con efficienza luminosa inferiore. Le lampade a bulbo consentono l'irradiazione della luce in tutte le direzioni, offrendo dunque una valida alternativa alle lampade incandescenti di uso comune come la lampada a bulbo della Philips con fosfori integrati. Avendo attacchi di tipo universale possono essere poste in corrente direttamente comportando un notevole risparmio di energia e riducendo, vista la durata di vita molto elevata, i costi di manutenzione. Le apparecchiature già cablate a led posseggono delle caratteristiche differenti: la loro emissione luminosa è infatti maggiore con

delle problematiche però di manutenzione nel tempo. A differenza dei sistemi di tipo alogeno e ad incandescenza, le apparecchiature agli ioduri metallici e quelle a led hanno bisogno di manutenzione applicate in ambiente esterno, in quanto costituite da sistemi complessi e non da semplici sorgenti di uso comune. Tutte le apparecchiature luminose richiedono infatti un ciclo di pulizia eseguito almeno una volta ogni quattro anni in ambiente pulito se non si vogliono eseguire calcoli illuminotecnici per stabilire il decadimento del flusso luminoso ed i conseguenti coefficienti di manutenzione.

1.5 LE SORGENTI LUMINOSE PER L'ESTERNO E LORO VITA UTILE

Per la manutenzione la CIE (International Commission of Illumination), con le indicazioni 154:2003 “the maintenance of outdoor lighting systems, ha definito la necessità di tenere conto, nel progetto di illuminazione, dei fattori di manutenzione e dei programmi di manutenzione per l'illuminazione pubblica. Il piano di manutenzione risulta obbligatorio per legge ed in tale settore, il calcolo dei coefficienti manutentivi deve essere basato sulle caratteristiche dell'apparecchio, sulle condizioni del sito di installazione e sul piano di manutenzione programmato secondo il seguente approccio:

$$MF = LLMF \times LSF \times IMF$$

dove

LLMF è il fattore di manutenzione della lampada espresso in lumen cioè il decadimento del flusso luminoso della sorgente nel tempo;

LSF è il fattore di sopravvivenza della lampada;

IMF è il fattore di manutenzione dell'apparecchio.

Il fattore LLMF può essere determinato in due modi:

- attraverso la consultazione, nei cataloghi, dei grafici dei lumen sviluppati originariamente dalla sorgente;
- dividendo i lumen mantenuti in quel preciso momento dallo sviluppo dei lumen iniziali.

Il secondo fattore, LSF invece, indica la progressiva mortalità di una sorgente dopo un certo numero di ore di funzionamento. Il terzo fattore IMF, rappresenta la proporzione tra il flusso luminoso iniziale emesso da un'apparecchiatura e quello emesso dalla stessa a distanza di tempo dall'installazione. A tale fattore è da imputare la più grande perdita di potenza luminosa ed è dovuto principalmente all'accumulo di sporco atmosferico sulla lampada. Tre fattori vanno considerati nella sua determinazione e cioè:

- il tipo di apparecchio;
- le condizioni atmosferiche;
- intervallo di manutenzione.

Prima di passare allo specifico di questi termini, bisogna indicare altre grandezze che pure sono fondamentali e che caratterizzano il corretto utilizzo delle apparecchiature: il fattore di utilizzo ed il rapporto “Light Output” (emissione luminosa) degli apparecchi. Per UF, cioè fattore di utilizzo, si intende il rapporto tra il flusso luminoso emesso dall'apparecchio e quello che raggiunge il piano di lavoro. Il fattore di utilizzo descrive la misura dell'efficacia del sistema di illuminazione e dipende da vari termini:

- il rendimento di luce della lampada;

- la distribuzione del flusso luminoso dovuta all'apparecchio;
- le proporzioni della stanza o dell'area da illuminare;
- la riflessione delle superfici;
- il rapporto tra la distanza a cui viene montata la sorgente e la superficie da illuminare.

Per quanto riguarda il rapporto di emissione luminosa degli apparecchi (I.L.O.R.) bisogna dire che è regolato in tal modo:

$$\text{I.L.O.R.} = \frac{\text{Output of luminaire (apparecchio)}}{\text{Output of lamp (lampada)}}$$

e descriviamolo mediante un esempio. Consideriamo la potenza totale di una lampada che tra luce indiretta e diretta emette 1000lm, di cui rispettivamente 300lm verso l'alto e 500lm verso il basso. In tal caso il I.L.O.R. viene scisso in altri due fattori: il rapporto di emissione luminosa verso l'alto U.L.O.R. ed il rapporto di emissione luminosa verso il basso D.L.O.R., mentre il I.L.O.R. effettivo comprende anche l'energia luminosa assorbita dal corpo illuminante. Per il caso in esame si ha quindi

$$\text{U.L.O.R.} = \frac{300}{1000} = 0,3 \text{ cioè } 30\%$$

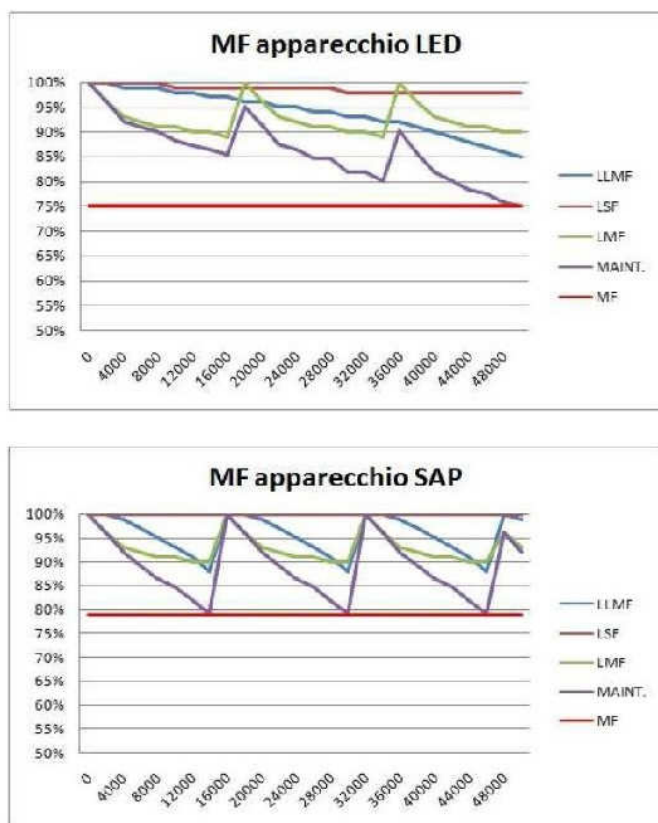
$$\text{D.L.O.R.} = \frac{500}{1000} = 0,5 \text{ cioè } 50\%$$

$$\text{I.L.O.R.} = \frac{300 + 500}{1000} = 0,8 \text{ cioè } 80\%$$

In questo caso la quantità di energia luminosa assorbita dall'apparecchio è pari a $100 - 80 = 20\%$. Ovviamente un D.L.O.R. maggiore significa un fattore di utilizzazione per il piano di lavoro orizzontale, cioè un U.F. superiore, un fattore di utilizzo superiore inteso come rapporto tra il flusso luminoso emesso dall'apparecchio e quello che raggiunge il piano di lavoro.

Ritorniamo all'analisi del mantenimento dei fattori manutentivi. Per quanto riguarda il fattore I.S.F., come affermato in precedenza, se si esaurisce la vita di un diodo led bisogna sostituire l'intera piastra su cui si trova; quindi la rottura del singolo diodo può non comportare la sua sostituzione immediata visti gli eccessivi costi, consci del fatto che non sempre la fotometria resti inalterata. Nei calcoli di un apparecchio

a led v  quindi adottato un fattore $LSF = 1,00$ se si prevede di sostituire l'apparecchio alla rottura del primo diodo all'interno, va adottato invece un fattore di almeno $LSF = 0,98$ (per 50000 ore di funzionamento) se invece si lascia l'apparecchio invariato. Gli apparecchi a LED richiedono un ciclo di pulizia eseguito almeno una volta ogni quattro anni in ambiente pulito se non si vogliono rifare i calcoli illuminotecnici. Incrociando i valori indicati nei seguenti paragrafi, il fattore di manutenzione da utilizzare   pari al punto pi  basso del grafico manutentivo come indicato in tabelle fornite dalle aziende, dove sono definiti i valori del fattore di sopravvivenza della sorgente e di decadimento dell'apparecchio.



(Fig 23 – diagrammi case costruttrici apparecchi SAP e LED per il piano di manutenzione programmato)

  indicato il cambio dell'apparecchio a 50000 ore, circa 12 anni, e pulizia del vetro (per le apparecchiature da esterno) circa ogni 16000 ore cio  ogni 4 anni. Il costo dell'intervento per esterni pu  essere stimato intorno alle 35 euro mentre il costo annuale di manutenzione si aggira intorno ai 9 euro. Il coefficiente di manutenzione risulta quindi pari a 0,75% come dal grafico si individua per l'apparecchio stradale a led.

Per l'apparecchio stradale con lampada tradizionale, ai vapori di sodio, è indicato il cambio della lampada programmato ogni 14000 ore con pulizia del vetro. Il costo dell'intervento è di circa 50 euro mentre il costo annuale di manutenzione si aggira intorno a 14 euro. Il coefficiente di manutenzione come indicato dal grafico si aggira attorno allo 0,79%.

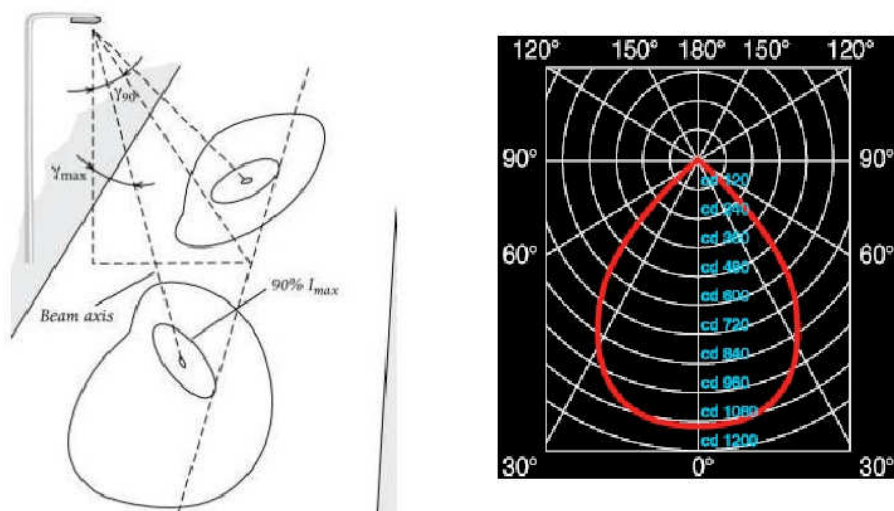
1.6 I FATTORI CHE INFLUENZANO GLI APPARECCHI DI ILLUMINAZIONE STRADALE A LED

Uno degli equivoci che nascono quando si parla di illuminazione a led, sta nel fare confusione tra la sorgente luminosa e l'apparecchio illuminante. Questi elementi, in tale tecnologia, sono in stretta correlazione ed una cattiva alimentazione può compromettere il corretto funzionamento abbassandone di tanto l'aspettativa di vita.

Per quanto concerne i driver necessari per l'alimentazione dei diodi, devono essere di tipo elettronico e provvedono alla doppia funzione di trasformatore e di convertitore. Siccome la vita utile dei diodi si attesta attorno alle 50000 ore di funzionamento si avrà la necessità di sostituire, nel corso del tempo, i driver a partire dal 5% di quelli in uso fino ad un 25%. La corretta separazione quindi tra l'alimentazione e la sorgente luminosa è indispensabile per il corretto funzionamento del sistema e per la durata di vita di entrambi. A differenza dei tradizionali sistemi a scarica utilizzati per l'illuminazione esterna, in cui le sorgenti luminose possono arrivare al di sopra dei 2000°C durante il loro funzionamento, gli apparecchi a led sono sorgenti più fredde, anche se questo non le esime da un surriscaldamento dei diodi, il cui funzionamento corretto dipende dalla dissipazione del calore. Se da un lato, questo dato può essere molto importante, in quanto fa intravedere margini di miglioramento possibili nell'emissione luminosa, dall'altro lato tale calore non potrebbe essere assorbito dalle superfici esigue dei led. Per questi motivi, lo smaltimento è da imputare alla piastra su cui vengono saldati i diodi affiancati da un dispositivo di dissipazione alettato. Le piastre migliori per la dissipazione del calore sono di tipo ceramico, alluminoso o di rame, che, per contenere i costi di produzione, vengono raramente utilizzate dalle case costruttrici a discapito delle prestazioni finali. I produttori hanno provato ad utilizzare dispositivi che possono limitare la potenza erogata in funzione della temperatura di esercizio, per evitare surriscaldamenti. Il pericolo è che si possano verificare cali di flusso luminoso non assicurando le prestazioni illuminotecniche delle apparecchiature messe in commercio. Analizzando una scheda tecnica di un corpo illuminante a led messo

in commercio, può ancora verificarsi che la temperatura all'interno dell'apparecchio sia superiore a quella di riferimento testata in laboratorio a cui sono allegate le sue prestazioni, per cui tali dati risultano parziali se non risulta corretta la loro messa in opera.

Gli apparecchi illuminanti per esterno devono rispondere a precisi requisiti innanzitutto: il cono luminoso deve essere indirizzato su strada in modo da non procurare fastidio alla visibilità utilizzando le curve fotometriche, che servono a valutare la corretta illuminazione, e con l'ausilio del sistema dialux affinché la luce venga inviata in direzione giusta sul piano e distribuita uniformemente. Per valutare tale parametro ci si basa sulla norma UNI 11248 che indica la luminanza del manto stradale. La luminanza è una grandezza vettoriale che esprime la densità con cui un'intensità luminosa viene emessa su una superficie e quindi rappresenta bene la sensazione visiva prodotta da una sorgente sull'occhio umano. Per questo una sorgente come quella di un diodo, cioè che ha sede su di una superficie molto piccola, produce un'intensità luminosa che l'occhio umano percepisce come molto più forte rispetto ad una sorgente di potenza analoga che si estende su di una superficie ampia. Uno dei primi problemi che quindi si configura è proprio la possibilità di abbagliamento. Quest'ultimo si differenzia dall'illuminamento perché in realtà si basa sulla percezione reale dovuta in parte all'angolo di irraggiamento ed in parte alla riflessione luminosa dettata dal manto stradale. L'intensità luminosa maggiore degli apparecchi per esterni si ha di solito per angoli molto ampi, che viceversa comportano però, a causa di tale intensità, un possibile abbagliamento. In genere l'angolo migliore di irraggiamento si aggira attorno ai 60°-70° gradi rispetto alla verticale. Viceversa è possibile fare riferimento all'apertura massima del fascio in senso trasversale denominata "spread" cioè l'angolo che forma il fascio luminoso rispetto al valore massimo del 90% di intensità luminosa.

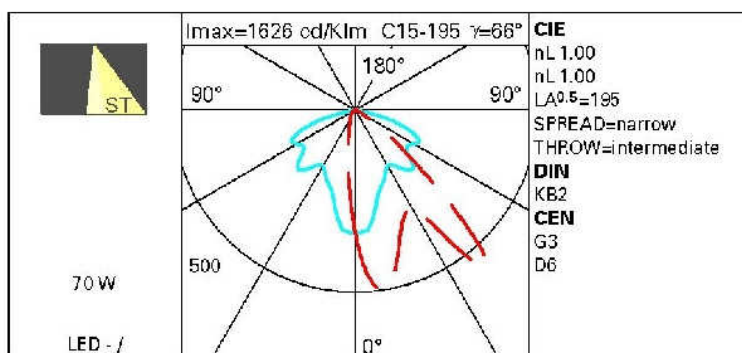


(Fig 24/25 – Irraggiamento sul manto stradale e curve fotometriche di un'apparecchiatura non per esterni)

Adottando angoli più ampi l'intensità luminosa può diminuire e ciò comporta una diminuzione tra il fascio luminoso e la superficie, cosa che permette una maggiore uniformità. Infatti, elevati coefficienti di uniformità, comportano migliori risultati in termini di percezione visiva; ne consegue che strade con minore intensità luminosa, ma con migliori parametri di uniformità visiva, sono da preferirsi a strade illuminate maggiormente ma che presentano scarsa uniformità percettiva. La norma UNI 11248 prevede il rispetto di due tipi di uniformità per le apparecchiature luminose stradali: uniformità generale della carreggiata U0 e l'uniformità lungo la posizione dell'osservatore sulla carreggiata UI. Per comprendere meglio la diffusione, supponiamo di leggere le curve fotometriche di un apparecchio illuminante: la fotometria indicata in figura precedente non può essere utilizzata in ambito stradale poiché non vi è allargamento della curva fotometrica verso i 60° sul piano.

Inoltre l'intensità luminosa invece di aumentare diminuisce e ciò vuol dire che la luce è più forte in prossimità dell'apparecchio illuminante rispetto al piano su cui occorre.

Osserviamo adesso la fotometria di un apparecchio illuminante a led dell'azienda iGuzzini; notiamo che la curva risulta allargata, il che permette una buona emissione e la possibilità di avere intervalli elevati fra i vari corpi illuminanti.



(Fig 26– Curva fotometrica dell'apparecchiatura esterna a led dell'azienda iGuzzini)

La massima intensità luminosa si attesta intorno ai 60°-70° cosa che fornisce un moderato abbagliamento assieme all'ottica spread che risulta “narrow” cioè stretta, il che permette una proiezione di luce asimmetrica consentendo l'installazione lungo la carreggiata. Lungo la direzione trasversale alla strada la curva fotometrica è asimmetrica, con direzione prevalente del flusso verso la strada per installazioni lungo il bordo della carreggiata; ovviamente per installazioni a centro strada l'ottica deve essere di tipo simmetrico. La quantità di luce, come stabilito dalla norma uni 11248 deve assicurare anche il “surrounding ratio” cioè “il rapporto circostante” che prevede una percentuale di lux anche sui

marciapiedi adiacenti alle carreggiate. Poiché i diodi led, per le motivazioni suddette, non possiedono un'efficienza luminosa paragonabile a quella delle lampade a scarica, alcuni produttori, hanno messo in commercio apparecchiature led che proiettano il fascio solo lungo la strada per avere una sufficiente luminanza. Il surrounding ratio, da normativa, in realtà prevede un coefficiente minimo di 0,5 richiedendo un coefficiente luminoso diffuso lato marciapiede poco meno della metà del coefficiente di utilizzazione lato strada. Queste sono solo alcune delle caratteristiche necessarie per un apparecchio stradale, ovviamente, per una corretta valutazione non si può prescindere dal calcolo illuminotecnico.

Le apparecchiature tradizionali, tra l'altro, sono dotate della possibilità di modificare le caratteristiche di emissione del fascio luminoso con l'inserimento di ottiche, oppure montando la lampada con inclinazioni differenti rispetto al riflettore. Spostare verticalmente la lampada dà luogo a fotometrie più o meno ampie in senso longitudinale, mentre lo spostamento orizzontale dà luogo a fotometrie asimmetriche in senso trasversale. Per un apparecchio a led, questa possibilità di versatilità è preclusa; vengono quindi adottati dalle case costruttrici degli accorgimenti. Ad esempio, sulla piastra di montaggio, i diodi vengono posizionati con inclinazioni differenti in modo da avere a terra una proiezione ottimale cosa che sfrutta al massimo la potenzialità dei led senza l'introduzione di lenti correttive, ma comporta un dispendio, in quanto ogni piastra deve essere sagomata appositamente. Un altro accorgimento può consistere nella realizzazione invece di una piastra seriale su cui posizionare i led e successivamente applicare a questi delle lenti che direzionano il flusso luminoso, modalità che comporterebbe una riduzione dei costi produttivi. Ovviamente, con questa modalità però, si ridurrebbe il flusso luminoso emesso dovuto all'applicazione di lenti al di sopra dei diodi. Un'altra opzione consisterebbe nel predisporre file di led su di una piastra seriale costruendo attorno ad ogni diodo un rifrattore che definisce una precisa curva fotometrica; in questo caso però, per un'eventuale manutenzione, il led non potrebbe essere sostituibile facilmente poiché progettato assieme ai diodi limitrofi che uniti costituiscono una determinata ottica deputata ad illuminare quella porzione di sede stradale. Nei casi in cui un singolo led quindi esaurisca il suo flusso luminoso occorre sostituire interamente tutta l'armatura a cui è collegato. In realtà, dopo i primi studi del consorzio riunito Zhaga, in vista di una standardizzazione, la Philips ha elaborato delle piastre sostituibili recanti ciascuna una serie di diodi che costituiscono un fascio luminoso predefinito. Per questo motivo, nel caso di difettualità progettuali, difetti di installazione o semplicemente come sostituzione, tali piastre possono essere cambiate non dovendo comportare un cambiamento totale dell'apparecchiatura installata.

1.7 RENDIMENTO DEGLI APPARECCHI LUMINOSI ESTERNI A LED

Per comprendere il rendimento di un apparecchio da illuminazione stradale non basta analizzare le schede tecniche del singolo elemento messo in commercio, ma come abbiamo già detto, vari fattori concorrono alla resa delle prestazioni del prodotto utilizzato. Il rendimento di un apparecchio, in particolare, calcolato come rapporto tra il flusso luminoso emesso dall'apparecchio e il flusso emesso dalle sorgenti contenute in esso, non tiene conto del flusso luminoso disperso verso l'alto e della potenza assorbita dall'apparecchio. Anche l'efficienza luminosa delle lampade messe in commercio, del resto, calcolata come rapporto tra il flusso luminoso emesso dalle lampade e potenza elettrica consumata, è un'efficienza di tipo nominale che non tiene conto della potenza assorbita dalle altre componenti nonché dal flusso disperso da riflessioni interne. La problematica si evince quando andiamo a considerare un coefficiente globale che tiene conto del flusso utile emesso e della reale potenza assorbita da un corpo illuminante.

Per un sistema di illuminazione stradale è necessario, come abbiamo affermato in precedenza, che il flusso luminoso sia rivolto verso il basso: dobbiamo quindi considerare, invece che il rendimento globale, il rendimento del flusso luminoso rivolto verso il basso definito D_{Lor}. L'efficienza luminosa viene quindi considerata come rapporto tra il flusso luminoso diretto verso il basso e potenza totale assorbita dall'apparecchio differente dalla potenza totale che comprende lampade, alimentatori e perdite del sistema sotto forma di calore. Bisogna quindi effettuare un confronto mediante una simulazione di alcuni apparecchi in commercio tramite dialux tra apparecchiature a led e sistemi a scarica tradizionali.

Viene quindi definito il rendimento globale di un apparecchio di illuminazione come:

$$h_a = \frac{\Phi \text{ sorgente } D_{Lor}}{W \text{ reali}} = \text{lm/W}$$

Supponiamo di avere un apparecchio a scarica di ultima generazione che monta una lampada SAP- ai vapori di sodio di potenza pari a 100W che sviluppa una potenza luminosa di 10700lm, corredata di alimentatore elettronico pari a 0,93 e D_{Lor} pari all'80%, si otterrà un rendimento globale:

$$h_a = 10700 \times 80\% / 100 = 85,6 \text{ lm/W}$$

Considerando invece un'apparecchiatura led costituita da 100 diodi alimentati a 350mA e che producono un flusso luminoso pari a 10000lm nonché un consumo energetico pari a 127W. Per tale apparecchio si ha un d_{Lor} pari all'85,7% applicando le ottiche. In tal modo si ha:

$$\eta_a = 10000 \times 85,7\% / 127 = 67,5 \text{ lm/W}$$

il rendimento di un sistema a led quindi risulta di poco inferiore a quello delle lampade a scarica di wattaggio equivalente. Ovviamente il rendimento dell'apparecchio non ha nulla a che fare con la fotometria che è un aspetto fondamentale; a parità però di progettazione fotometrica, l'apparecchio con rendimento maggiore fornirà risultati migliori.

Per comprendere quindi, a livello economico, in vista di una riqualificazione di un impianto di illuminazione, quali elementi è più corretto utilizzare, quale tecnologia comporti un risparmio maggiore, occorre innanzitutto effettuare un confronto tra apparecchi in commercio di ultima generazione sia a led che a scarica, che forniscano le stesse prestazioni illuminotecniche. Ovviamente tale confronto dovrebbe vagliare i risultati delle differenti tecnologie ai fini del contesto di applicazione, dei costi d'installazione, dei costi di manutenzione e del risparmio energetico. È proprio l'approccio che permetterà lo studio successivo delle tecnologie di illuminazione in commercio.

1.8 APPLICAZIONE DEL SISTEMA LED IN ESTERNO: L'ESEMPIO DI TORRACA

La prima “led city” cioè il primo comune in Italia che nel 2007 ha sperimentato l'applicazione della tecnologia led alle sue strade cittadine, è stata la città di Torraca in provincia di Salerno. Il comune, costituito da poco più di 1300 abitanti, ha installato la tecnologia led nelle strade, piazze, aree verdi e gallerie, in totale circa 700 punti luce con un investimento pari a 280 mila euro, di cui è previsto il recupero in circa 6 anni. Una ditta locale ha realizzato l'impianto, l'elettronica Gelbison, in aggiunta alle tre centrali fotovoltaiche che alimentano anche la scuola e la piscina comunale.

(Fig 27/28 – Immagine di Torraca dall'alto e dei lampioni stradali costituiti da 48 diodi led)



Le lampade tradizionali sono state sostituite da lanterne che presentano 48 led da 1Watt ad alta efficienza luminosa, cioè emettono 100lm/W. Per stimare il risparmio, ovviamente bisogna leggere la bolletta energetica del comune antecedentemente e successivamente l'installazione della tecnologia led. Prima dell'installazione, in un periodo di 2 mesi, il Comune ha consumato 40 kW pari a 38740 kWh per un costo di 4442,96€. Successivamente all'investimento di 280 mila euro, il comune ha invece consumato 21kW circa la metà, mentre il consumo orario è sceso addirittura a 9587 kWh. La bolletta si è conseguentemente ridotta di $\frac{1}{4}$ pari a 1050,77€.

Considerando un risparmio medio ogni 2 mesi di 3400€ , quindi di circa 20400€ all'anno, nei 6 anni l'ammortamento dell'investimento iniziale non viene raggiunto, ma l'esperimento "Torraca" è stato fruttuoso perché è stata una prova pratica della nuova tecnologia applicata all'ambito illuminotecnica esterno.

Successivamente all'impianto iniziale di 48 led sono stati inseriti altri punti luce ed altri led centralmente a quelli installati all'inizio della sperimentazione. C'è da dire che "Torraca" ha dato il via ad altre sperimentazioni che nel corso del tempo hanno coinvolto altre zone d'Italia in accordo con l'evoluzione della tecnologia led. Attualmente, le lampade in commercio, sono superiori all'impianto applicato nel 2007 a Torraca ed un esempio è da riscontrare in un tratto stradale utilizzato a Scandiano in Emilia Romagna in cui sono state applicate lampade a led da 180W. L'impianto di Scandiano è stato realizzato dalla Careca Italia in collaborazione con la taiwanese Foxsemicon Integrated Technology, colosso mondiale nell'ambito dei semiconduttori, comportando un risparmio energetico annuale di circa 7000 euro.

Capitolo 2: Tecnologie e standardizzazione

2.0 IL CONSORZIO ZHAGA PER LA STANDARDIZZAZIONE DEI LED

La standardizzazione dei led potrebbe sembrare un argomento di scarso interesse deputato esclusivamente ai produttori, ma non ai progettisti, cosa non vera e da non sottovalutare. Fondamentale per la manutenzione dei sistemi led infatti è capire quali, tra quelli attualmente in commercio, possono essere intercambiabili oppure avere parti comuni con altri. Nel caso in cui risulti necessario cambiare un sistema led dopo qualche anno dall'acquisto ci sarebbero problemi: innanzitutto bisogna verificare che l'apparecchio sia ancora in produzione a causa dell'evoluzione continua nel settore con la sostituzione di apparecchiature che, anche se costruite a poche distanze di mesi, risultano ormai obsolete. Nel caso in cui si dovesse sostituire non l'apparecchio ma il solo alimentatore, si troverebbe di fronte comunque a varie problematiche: non esiste infatti una tipologia di alimentatore universale per moduli led, quindi per la

Moduli integrati



(Fig 29 – Led “fortimo” elaborato dalla Philips)

sostituzione occorrerebbe rivolgersi alla ditta produttrice del corpo illuminante per avere il ricambio, senza la possibilità di sostituirlo con prodotti di altre aziende. Ciò significa legare in maniera vincolante gli acquirenti ai produttori e per questo, cioè per porre un freno alla moltiplicazione infinita di apparecchiature e creare una standardizzazione della tecnologia a led, è nato il consorzio Zhaga.

Del consorzio fanno parte varie aziende (Osram, Philips, Zumtobel, Toshiba, ecc) che si occupano di ricercare una standardizzazione per le interfacce dei “led light engines” cioè il consorzio vuole stabilire una base comune per 5 interfacce: supporto, alimentazione, controllo, fotometria e dissipazione. Ciò comporterebbe una riduzione dei costi di manutenzione e sostituzione, nonché di commercializzazione e produzione di tale tecnologia.

Come accennato in precedenza, la Philips ha, ad esempio, elaborato dei pali per esterno recanti nella testata delle piastre smontabili su cui sono applicati i diodi. Nel caso ci fosse la necessità di sostituire praticamente alcuni diodi mal funzionanti o danneggiati da un'errata installazione, invece di smontare tutta la testata del palo, basta staccare una delle piastre e sostituirla.

2.1

RAPPORTI TRA SORGENTI LUMINOSE E CONFONTI ENERGETICI

Dagli studi attuati da alcune case costruttrici si possono eseguire un confronto tra sorgenti luminose in commercio ed individuarne altre caratteristiche oltre a quelle citate finora:

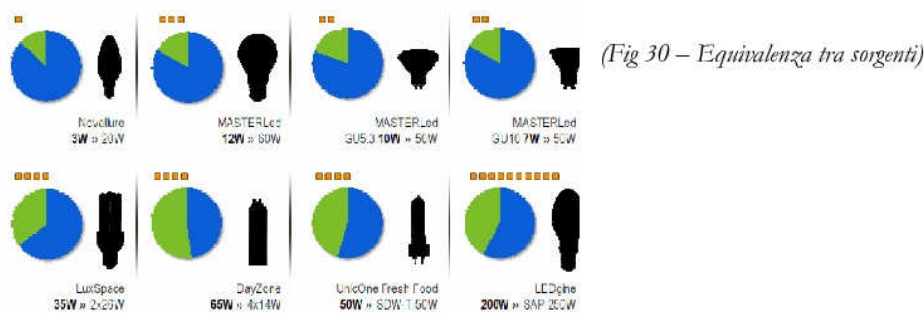
- la prima caratteristica da tenere presente è il CRI (Color Rendering Index) che rappresenta la quantità di una sorgente luminosa di riprodurre fedelmente i colori di vari oggetti nei confronti di una sorgente ideale o di luce naturale. Ad esempio, fonti di luce con CRI elevato, sono opportune in situazioni critiche, come nei negozi di abbigliamento oppure nella fotografia e nella cinematografia. L'indice fornisce un valore fino a 100 che è il valore di riferimento per la luce naturale.

Tipo di sorgente luminosa	(K)	CRI
Sodio a bassa pressione	1800	5
Vapori di mercurio	6410	17
Alogenuri metallici	4200	85
Power Led – High CRI	2700 – 10000	90
Lampada alogena	2700 - 3000	100

(Tab 1 – Rapporto tra sorgenti – indice di resa cromatica – temperatura di colore)

Siccome più si aumenta aumentiamo la tensione di alimentazione (300mA, 500mA, 700mA) più si ottiene l'emissione del flusso luminoso e conseguentemente una diminuzione della vita utile, c'è da dire che fondamentale risulta la temperatura di alimentazione, quella di colore ed il CRI che sono entità intimamente connesse. Infatti una temperatura di alimentazione genera un determinato colore della luce e di conseguenza un CRI maggiore quando ci si avvicina alla brillantezza alogena o delle tradizionali sorgenti incandescenti. Si vedrà adesso il confronto tra potenze a led e lampade tradizionali:

Confronto con soluzioni tradizionali



(Fig 30 – Equivalenza tra sorgenti)

Dagli studi dei laboratori scientifici della Philips si legge che una lampada da 12-13 watt a led corrisponde ad una 60 watt alogena mentre una lampada da 7-10 watt a led corrisponde all'emissione luminosa di una 50 watt alogena. Inoltre una lampada da 35watt a led equivale a 2 lampade da 26watt a risparmio energetico, mentre una lampada da 200watt a led corrisponde ad una lampada da 250watt ai vapori di sodio. In realtà le equivalenze in termini di flusso luminoso emesso devono essere corroborate da simulazioni con strumenti di calcolo in quanto un conto sono le prove di laboratorio a confronto tra i vari lumen sviluppati quando si provano le lampade con stress simulati da norma, ed un altro conto sono le applicazioni pratiche delle sorgenti che vanno sempre accoppiate all'apparecchiatura da utilizzare. In effetti ultimamente sono state immesse sul mercato apparecchiature led che si avvicinano a lampade a scarica per l'impiego in settori commerciali anche se la proiezione di luce è differente, cioè più netta e fredda.

2.2 I SETTORI DI APPLICAZIONE DEL SISTEMA LED

L'attenzione verso il risparmio energetico assieme alla purezza dell'emissione luminosa comporta la possibilità di far diventare la luce a led il tipo di illuminazione del futuro, anche perché presenta dei margini di miglioramento elevati essendo una tecnologia molto giovane. Oltre all'emissione luminosa bisogna tenere presente altri aspetti importanti nella progettazione quali l'indice di resa cromatica, la temperatura di colore, costi di manutenzione e di sicurezza, insomma tutti elementi specifici che comportano la possibilità di creare una luce progettata in tutti i suoi aspetti.

Dall'analisi effettuata finora bisogna quindi specificare che, anche se i led sembrano la tecnologia migliore da impiegare in determinati settori, i costi di investimento iniziali sono abbastanza elevati a differenza delle altre tecnologie in commercio. Soprattutto nell'ambito dell'illuminazione pubblica, i costi del sistema led risultano molto elevati rispetto alle tecnologie tradizionali agli ioduri metallici considerando anche che la tecnologia a led, in tale settore, non è ancora tanto sviluppata da poter sostituire le lampade tradizionali. Innanzitutto possiamo sostenere che, le lampade a led, risultano essere convenienti se paragonate alle ormai obsolete lampade ad incandescenza o alogene che, possedendo un'efficienza luminosa scarsa in quanto grande parte dell'energia viene trasformata in calore, saranno ritirate dal mercato. A differenza però di un costo di investimento iniziale più elevato rispetto alle altre tecnologie, le lampade a led presentano un'aspettativa di vita ed un mantenimento del flusso luminoso elevati e ciò le

rende un'alternativa sicuramente competitiva rispetto alle lampade fluorescenti. Quest'ultimo aspetto è da valutare soprattutto in impianti che hanno un periodo di accensione molto elevato anche considerando il problema del decadimento del flusso luminoso delle lampade fluorescenti dovuto alle continue accensioni e spegnimenti. Sempre per la progettazione bisogna considerare un altro aspetto importante che riguarda la possibilità dei led di modificare il colore della luce ed il fascio luminoso, risultando migliori se le si vuole utilizzare per un'illuminazione di arredamento e per la creazione di determinati effetti.

A differenza però delle lampade fluorescenti, le lampade led risultano avere fasci concentrati simili alle alogene dicroiche, quindi, per ottenere una luce diffusa sul piano di lavoro, bisogna avere più punti luce ad interasse ridotto. Si stanno facendo strada sul mercato apparecchi di varie case costruttrici che, utilizzando un led di tipo "fortimo" della Philips riescono a potenziare l'emissione e la diffusione luminosa.

Quanto affermato comporta che, allo stato dell'arte dello sviluppo della tecnologia led, dimostreremo che la sua applicazione la rende la tecnologia migliore per l'illuminazione privata e può sostituire quella commerciale soprattutto di alcuni settori commerciali, dove le ore di utilizzo risultano più elevate.

Se effettuiamo invece un confronto tra le varie tecnologie in ambiente esterno dobbiamo distinguere l'aspetto economico da quello delle caratteristiche elettriche. I led infatti non presentano emissioni inquinanti, hanno un'elevata durata di vita e possono essere alimentati a bassa tensione cosa che li rende compatibili con l'applicazione di pannelli fotovoltaici riducendo anche i costi di utilizzo. Effettuando un'analisi dei costi, le lampade per esterno a led, restano ancora troppo care e non paragonabili con le altre tecnologie lasciandole ancora come elementi presenti sul mercato, ma poco applicabili. Paragonando ad esempio le lampade agli ioduri metallici con quelle a led in ambiente esterno si evince sicuramente che gli ioduri, oltre a produrre una luce bianca adatta per l'esterno, comportano un risparmio energetico addirittura superiore a tutte le altre tecnologie grazie alla resa luminosa. Una lampada da 250W agli ioduri metallici infatti, sviluppa una potenza luminosa che non trova equivalenti sul mercato nell'ambito di sistemi di illuminazione a led.

I led devono quindi migliorare i loro margini di commercializzazione e di emissione luminosa per l'illuminazione stradale in modo da diventare diretti avversari della tecnologia agli ioduri considerando che l'aspetto ambientale continua ad essere migliore nel settore della tecnologia led.

2.3 APPARECCHIATURE A LED DI ULTIMA GENERAZIONE

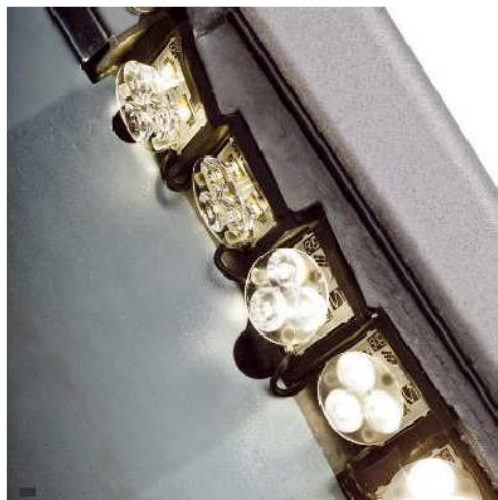
Risulta doveroso comprendere a che stadio di sviluppo si trovi la nuova tecnologia non solo per l'applicazione in ambienti interni (studio che verrà effettuato al cap. 4), ma avere uno sguardo completo, anche nel settore di applicazione che risulta più ostico per la tecnologia led, cioè l'applicazione in esterno.

Attualmente per le apparecchiature interne stanno vedendo l'applicazione di un diodo di ultima generazione chiamato "fortimo" e realizzato dalla Philips. Il Fortimo LED Philips è un modulo led con tecnologia al fosforo remoto che permette un'importante passo avanti per l'efficienza energetica, la resa cromatica ed il rendimento luminoso. Tale tipo di led combina la regolazione dell'intensità luminosa con un alloggiamento dell'alimentatore indipendente per l'installazione remota. Il driver inoltre dispone di un connettore a 12V che può essere collegato ad elementi di raffreddamento. Il sistema "Fortimo" è stato creato per integrare aumenti di efficienza dei led senza modificare l'intensità luminosa, l'uniformità della resa cromatica o la sostituzione del modulo.

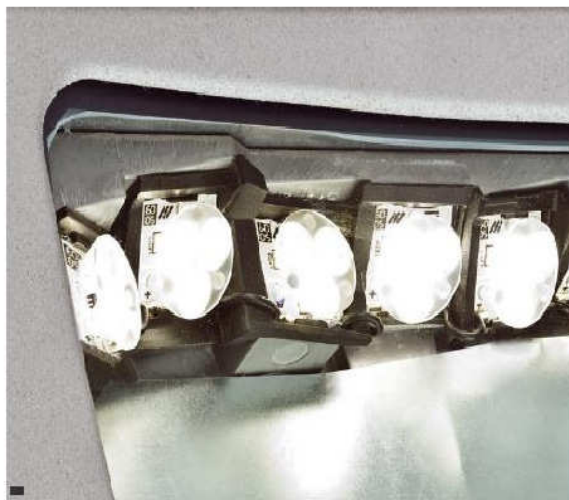
Si analizzano adesso di seguito le tipologie di apparecchiature per esterni di ultima generazione, classificandone e descrivendone le caratteristiche specifiche. Viene portata ad esempio una delle tante aziende in commercio produttrici di apparecchiature innovative ad alta efficienza. Le apparecchiature (Senso) sono corpi illuminanti costituiti da un motore fotometrico completamente sigillato racchiuso da un protettore in vetro. Per questo motivo i led non entrano in contatto con l'ambiente circostante e vengono protetti dagli ambienti atmosferici. Il protettore in vetro assicura il mantenimento delle prestazioni dei LED e delle lenti nel tempo, è autopulente, e trattato con un rivestimento anti riflesso che incrementa la prestazione illuminotecnica del 10% rispetto a un protettore in vetro non trattato. La corrente di alimentazione è mantenuta a un massimo di 350mA per garantire la massima efficienza dei LED e la massima durata di vita degli ausiliari. L'alimentatore offre anche una maggiore protezione contro improvvise cadute di tensione. Ogni apparecchio è dotato di un sensore di temperatura che riduce la corrente al 70% se la temperatura supera il massimo consentito - per esempio, quando l'apparecchio viene acceso di giorno durante la manutenzione o quando viene testato ad alte temperature. Il motore fotometrico e gli ausiliari possono essere sostituiti in loco al termine della durata di vita, per poter beneficiare dei futuri sviluppi legati a questa tecnologia. Gli apparecchi Senso hanno dato prova di notevoli prestazioni fotometriche. Ad esempio usato su una strada di larghezza pari a 7m per una classe illuminotecnica ME4, secondo la UNI EN 13201-2, la potenza installata per raggiungere il livello di luminanza richiesto di 0.75 cd/m² è inferiore a 0.6 W per m² di carreggiata e per cd/m² richieste, il tutto tenendo conto anche del fattore di deprezzamento, sia per i LED, sia per l'apparecchio. Per un'accensione

di 4000 ore all'anno, ipotizzando un tratto di strada di 100m di lunghezza, ciò si traduce in un consumo energetico inferiore a 3.2 kWh al giorno, e in una produzione di CO2 inferiore a 1.5 kg al giorno.

Le matrici led possono essere sostituite nel caso di mancato funzionamento o spegnimento di una delle sorgenti.



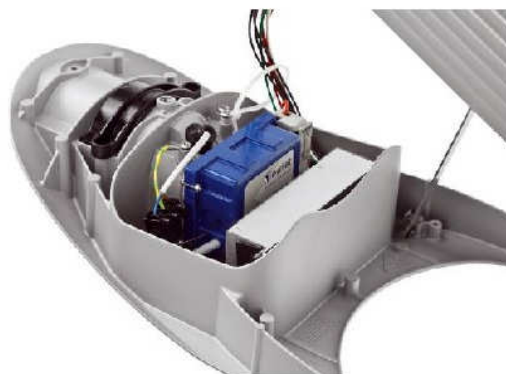
(Fig 31 – Diodi inclinati per i fasci luminosi)



(Fig 32 – Sorgenti led sostituibili)



(Fig 33 – Sistema scomponibile testapalo)



(Fig 34 – Alimentazione testapalo)

Tali tipologie di apparecchiature non riescono a sostituire ancora tutti i tipi di illuminazione extraurbana ma possono sicuramente essere applicati in contesti di tipo cittadino. Inoltre la facilità di manutenzione e

pa possibilità di sostituzione del singolo elemento a diodi recante l'inclinazione e l'ottica specifica comporta l'affacciarsi per tale tecnologia alla necessità di standardizzazione del consorzio Zhaga.

Capitolo 3: La normativa nel settore dell'illuminazione

3.0 CONFRONTI TRA NORME IN MATERIA DI ILLUMINAZIONE

Nel nostro paese non esistono leggi specifiche in materia illuminotecnica, ma indicazioni riguardanti le normative da rispettare a livello comunitario. In altri paesi invece, come la Francia e l'Inghilterra risulta ad esempio obbligatorio presentare il calcolo illuminotecnico per ottenere le licenze edilizie, oppure l'illuminazione stradale viene interamente installata a led in vista del contenimento dei consumi energetici. Per quanto concerne la normativa riguardante l'illuminazione nei luoghi di lavoro, a partire dal 2004 l'Italia ha recepito la Norma Europea UNI EN 12464 che ha introdotto alcune novità. La precedente normativa, la UNI 10380 stabiliva alcuni parametri da rispettare per il comfort visivo sia naturale che artificiale, indicando quale doveva essere l'intervallo di lux da rispettare a seconda dell'attività svolta, nonché il limite di abbagliamento massimo.

Negli ultimi anni, infatti, la comunità scientifica ha dimostrato un crescente interesse verso l'illuminazione artificiale degli ambienti interni soprattutto in termini di qualità e quantità di luce. La ricerca in questo campo è sempre più indirizzata verso un tipo di illuminazione che tenga conto di due caratteristiche fondamentali: la quantità e la qualità della luce emessa, nonché del risparmio energetico. Ad esempio, negli ambienti di tipo scolastico, la norma UNI 10840 suggeriva che il progetto illuminotecnico preveda il più possibile l'uso della luce naturale. Le finestre devono avere il compito di creare una distribuzione delle luminanze e di realizzare il contatto visivo con l'ambiente esterno avendo la possibilità di poter oscurare completamente quando le esigenze didattiche lo richiedono. La norma UNI EN 12464:2004, in sostituzione della UNI 10380 definisce i criteri di qualità degli impianti per una corretta visione, i metodi di misura ed i criteri di progettazione. Nel lontano 1994, il settore illuminotecnica recepiva la norma UNI 10380 "Illuminazione di interni" con lo scopo di fornire le linee guida per la progettazione degli impianti di illuminazione.

Tale norma forniva la definizione delle grandezze fotometriche fondamentali, l'illuminazione da rispettare a seconda delle destinazioni d'uso e le prescrizioni per ogni grandezza. Sempre la UNI 10380 forniva anche le verifiche illuminotecniche da effettuare e le caratteristiche di impiego degli strumenti, oltre a fornire le modalità per limitare l'abbagliamento diretto, quello riflesso e la metodologia per determinare l'illuminamento medio ed il calcolo del fattore di resa del contrasto CRF. La normativa in vigore, la UNI 12464:2004, che è andata a sostituire la 10380 si articola in 6 capitoli nei quali si specifica lo scopo ed il campo di applicazione, termini e definizioni utilizzate, i criteri di progettazione, l'elenco dei requisiti illuminotecnici ed i procedimenti di verifica. I principali parametri da controllare per soddisfare le esigenze

visive dei lavoratori sono: la distribuzione delle luminanze, l'illuminamento, l'abbagliamento, la direzione della luce, lo sfarfallamento e gli effetti stroboscopici nonché la luce diurna. Tale norma inoltre definisce i valori limite dei seguenti parametri:

- illuminamento medio mantenuto;
- uniformità di illuminamento;
- grado unificato di abbagliamento (UGR);
- indice di resa cromatica.

Mentre precedentemente si prevedeva un valore medio per l'illuminazione generale di un ambiente, adesso la normativa fa distinzione fra il piano di lavoro e le zone circostanti (*Vedi Allegato Norma UNI 12464*). Mediante tabelle fornite dai produttori e tramite l'uso di software di calcolo, la norma indica la verifica dell'indice di abbagliamento diretto UGR che tiene conto sia della luce diretta prodotta dagli apparecchi, che della riflessione delle superfici.

La differenza sostanziale da ricercarsi nelle norme UNI 10380 ed UNI EN 12464 si individua nello scopo che si prefiggono. Mentre nella UNI 10380 sono fornite solo delle prescrizioni relative all'esecuzione ed alla verifica degli impianti di illuminazione artificiale stabilendo dei parametri che ne regolano l'esecuzione, nella UNI 12464 l'approccio è nettamente diverso. Nella norma si pone molto l'accento sui termini quantità e qualità della luce nei posti di lavoro interni ed inoltre non sono riportate soluzioni impiantistiche specifiche al fine di non influenzare il progettista e di dare la possibilità di sperimentare nuove soluzioni e tecnologie. Altra differenza di natura pratica, consiste nel fatto che la UNI 10380 forniva delle prescrizioni restrittive e laboriose per le verifiche di luminanza, che spesso non venivano effettuate a causa della complessità esecutiva e della difficile reperibilità degli strumenti di misura da parte degli operatori del settore. La norma del 2004, invece, fornisce dei suggerimenti generali sulla distribuzione delle luminanze e viene lasciato, a discrezione del progettista o del verificatore, il livello di accuratezza nell'ottimizzazione. Rimane inalterato il grado di dettaglio nella verifica dell'illuminamento soprattutto, campi di verifica nuovi risultano: la valutazione dell'illuminamento nell'area immediatamente circostante il compito, la scala degli illuminamenti, il nuovo indice UGR per la valutazione dell'abbagliamento. In particolare, la novità più importante risulta l'indice UGR che viene calcolato attraverso un metodo tabulare utilizzato dai costruttori delle apparecchiature messe in commercio.

Per quanto concerne invece l'illuminazione pubblica, nel 2007 è stata pubblicata la norma UNI 11248 che disciplina il settore assieme alle norme UNI EN 13201-2-3-4. Queste nuove norme rivedono in modo totale l'approccio alla progettazione illuminotecnica, in particolare per la EN 13201 si ha che:

la parte 2: individua i requisiti prestazionali, cioè i parametri in quantità e qualità che i vari ambienti illuminati considerati devono rispettare;

-
- la parte 3: sul calcolo delle prestazioni illustra gli algoritmi e le convenzioni per il calcolo delle prestazioni;
 - la parte 4: individua i metodi di misurazione delle prestazioni fotometriche, illustra e suggerisce metodi e procedure per la verifica di tali prestazioni.

Queste tre parti indicano degli standard di riferimento e sono comuni a tutti gli stati membri. L'Ente Normativo Europeo ha pubblicato anche il CEN/TR 13201-1: questo documento specifica ed identifica una serie di considerazioni sull'individuazione delle classi illuminotecniche individuate nella parte 2 della norma, alle quali ricondurre gli ambienti da illuminare. Ogni stato membro dell'Unione ha la responsabilità degli aspetti legati alla sicurezza e conseguentemente ogni nazione della Comunità Economica Europea ha redatto un documento normativo per la classificazione degli ambienti. All'interno di tali documenti nazionali vengono considerati gli elementi fondamentali della CEN/TR 13201-1 rielaborandoli ed adottandoli alle proprie specificità nazionali. Per l'Italia, il documento a cui fare riferimento, resta la UNI 11248.

Nel corso dello studio si analizzeranno quindi nello specifico le seguenti normative considerando che gli scenari europei sono stati accolti a livello nazionale e regionale da raccomandazioni come la norma UNI 10819 del 1999 "Impianti di illuminazione esterna – requisiti per la limitazione delle dispersioni verso l'alto del flusso luminoso" ripresa ad esempio nella legge regionale del Piemonte n°31/2000 in particolare dalla città di Torino.

3.1 IL QUADRO NORMATIVO SULL'ILLUMINAZIONE NEI LUOGHI DI LAVORO

La norma UNI EN 12464 fornisce delle indicazioni sull'illuminazione nei luoghi di lavoro. In particolare la UNI citata afferma: “ la presente norma europea non specifica i requisiti illuminotecnica riguardanti sicurezza e salute dei lavoratori, ma solo quelli che corrispondono alle esigenze di comfort visivo e di prestazione visiva”. Inoltre, sempre la UNI in esame, non riporta soluzioni specifiche di illuminazione, non limita la libertà del progettista di sperimentare nuove tecniche, né l'applicazione di attrezzature innovative.

Rapporto tra illuminamenti e uniformità nelle zone immediatamente circostanti e nelle zone del compito

Illuminamento del compito lx	Illuminamento delle zone immediatamente circostanti lx
≥750	500
500	300
300	200
≤200	E_{compito}
Uniformità: ≥0,7	Uniformità: ≥0,5

(Tab 2 – Norma UNI 12464 – illuminamenti nelle aree adiacenti alle zone del compito)

La presente norma, quindi, nasce nel 2004 e sostituisce la UNI 10380 del 1994. Dopo un primo capitolo in cui vengono indicati termini e definizioni riferiti alla norma, vengono specificati i criteri di progettazione illuminotecnici negli ambienti interni (posti di lavoro). Punti fondamentali della norma riguardano la distribuzione delle luminanze che influenzano il comfort visivo nei luoghi di lavoro cercando di evitare:

- luminanze troppo elevate che potrebbero provocare abbagliamento;
- contrasti di luminanza che causerebbero affaticamento oculare;
- luminanze troppo basse che darebbero luogo ad un ambiente di lavoro monotono e non stimolante.

Studi recenti infatti hanno dimostrato che, in ambienti di lavoro necessitanti di un'attenzione media – costante, risulta utile l'applicazione delle luci biodinamiche. Una delle case produttrici di apparecchiature luminose, la Philips, ha creato pannelli biodinamici testati sul rendimento lavorativo. L'esperimento ha dimostrato che nelle ore mattutine, una luce calda stimola il rendimento dei lavoratori aumentandone la

concentrazione; mentre nelle prime ore pomeridiane, a causa di cali di attenzione, il rendimento viene stimolato tramite l'utilizzo di luci fredde (Dynamic lighting).

Sempre secondo normativa, gli illuminamenti nelle zone immediatamente circostanti alle aree di lavoro, devono essere correlati agli illuminamenti dei piani di lavoro poiché, variazioni troppo elevate, possono provocare affaticamenti visivi; la normativa, in merito, ci fornisce tali rapporti mediante tabella al punto 4.3.2. della normativa indicata precedentemente. Per le illuminazioni delle postazioni di lavoro, i criteri ed i sistemi devono essere scelti in base al tipo di attività, di compito ed al tipo di interno. Nel paragrafo 5 della normativa UNI EN 12464-1:2004 vengono infatti elencati i requisiti illuminotecnica per interni suddivisi per compiti ed attività (Allegato Norma UNI 12464).

Nel paragrafo 6 della normativa vengono date indicazioni sui procedimenti di verifica, affermando che, in un progetto di illuminazione, i punti di misurazione devono coincidere con quelli di progettazione e con le griglie utilizzate. Gli stessi punti di misurazione, devono essere utilizzati per verifiche successive nel corso del tempo alle apparecchiature installate. La verifica degli illuminamenti interni, riguardanti specifici compiti, deve essere effettuata con misurazioni sul piano del compito (vedi allegato A). In particolare, per la verifica degli illuminamenti, si devono tenere in considerazione i seguenti parametri:

- la taratura dei Luxometri utilizzati;
- la conformità delle lampade ai dati fotometrici dichiarati dal produttore;
- confronti dei dati di progetto con i valori reali.

3.2 LA NORMATIVA SULL'ILLUMINAZIONE STRADALE

La norma UNI-EN 13201-2 indica ai paesi comunitari una serie di regole da rispettare per garantire le caratteristiche fotometriche necessarie per l'illuminazione stradale pubblica. Inoltre la norma fornisce indicazioni precise, requisiti e prestazioni per la progettazione illuminotecnica classificando i parametri che rientrano in tale calcolo. Nella norma UNI 11248 vengono introdotte considerazioni sulle competenze dei vari attori: vengono imposte infatti al proprietario/gestore della strada ed al progettista delle precise responsabilità sui parametri di progetto individuati e concordati. La legislazione, quindi, fornisce le linee guida per determinare le condizioni di illuminazione di una data zona esterna dedicata al traffico. Viene

specificato un criterio di classificazione per poter individuare la propria zona di progetto partendo da una scala di riferimento, passando ad una classificazione progettuale fino ad arrivare ad una classificazione di esercizio valutando una serie di parametri definiti come “analisi dei rischi”. Si parte dalla categoria illuminotecnica di riferimento individuata nella tabella successiva e definita dal codice della strada. Inoltre il committente deve indicare, con opportuni documenti, al progettista, la classificazione della strada oggetto di studio.

(Tab 3 – Norma UNI 11248)

UNI 10439 e UNI 11248			
Strada	Codice strada	Norma UNI	
		10439	11248
Autostrade urbane	A	ME1	
Scorrimento veloce	D1	ME1	ME3
Scorrimento	D2	ME2	
Interquartiere	E1		
Quartiere	E2	ME3	
Locale	F	ME4	

Codice strada	Descrizione del tipo di strada	Limiti di velocità [km/h]	Categoria illuminotecnica di riferimento
A ₁	Autostrade extraurbane	130 - 150	ME1
	Autostrade urbane	130	
A ₂	Strade di servizio alle autostrade	70 - 90	ME3a
	Strade di servizio alle autostrade urbane	50	
B	Strade extraurbane principali	110	ME3a
	Strade di servizio alle strade extraurbane principali	70 - 90	ME4a
C	Strade extraurbane secondarie (tipi C1 e C2 del DM 6792/01)	70 - 90	ME3a
	Strade extraurbane secondarie	50	ME4b
	Strade extraurbane secondarie con limiti particolari	70 - 90	ME3a
D	Strade urbane di scorrimento veloce	70	ME3a
		50	
E	Strade urbane interquartiere	50	ME3c
	Strade urbane di quartiere		
F	Strade locali extraurbane (tipi F1 e F2 del DM 6792/01)	70 - 90	ME3a
	Strade locali extraurbane	50	ME4b
		30	S3
	Strade locali urbane (tipi F1 e F2 del DM 6792/01)	50	ME4b
	Strade locali urbane: centri storici, isole ambientali, zone 30	30	CE4
	Strade locali urbane: altre situazioni	30	CE5/S3

	Strade locali urbane: aree pedonali	5	CE5/S3
	Strade locali urbane: centri storici (utenti principali: pedoni; ammessi gli altri utenti)	5	CE5/S3
	Strade locali interzonali	50	
		30	
	Piste ciclabili D.M. 557/99	Non dichiarato	S3
	Strade art. 3.5 del D.M. 6792/01: strade a destinazione particolare	30	

(Tab 4/5/6 – Norma UNI 11248- 13201)

Classi stradali per zone conflittuali e pedonali

Classi di illuminazione	Illuminamento orizzontale minimo mantenuto (lx)	Uniformità generale minima mantenuta U _o
CE0	50	0,4
CE1	30	
CE2	20	
CE3	15	
CE4	10	
CE5	7,5	

Classi di illuminazione	Illuminamento orizzontale minimo mantenuto (lx)	Illuminamento orizzontale mantenuto (lx)
S1	15	5
S2	10	3
S3	7,5	1,5
S4	5	1
S5	3	0,6
S6	2	

Classi di illuminazione	Illuminamento emisferico minimo mantenuto (lx)	Uniformità generale minima U _o)
A1	5	0,15
A2	3	
A3	2	
A4	1,5	
A5	1	

Classi di illuminazione	Illuminamento semicilindrico minimo mantenuto (lx)
ES1	10
ES2	7,5
ES3	5
ES4	3
ES5	2
ES6	1,5
ES7	1
ES8	0,75
ES9	0,5

Classi di illuminazione	Illuminamento del piano verticale minimo mantenuto (lx)
EV1	50
EV2	35
EV3	10
EV4	7,5
EV5	5
EV6	0,5

A seguito di tale comunicazione il progettista è tenuto ad elaborare “un’analisi dei rischi” cioè una valutazione delle caratteristiche specifiche dell’ambiente da progettare che possono comportare anche il passaggio ad una categoria illuminotecnica di progetto differente. Tali rischi sono valutati in normativa attraverso una serie di tabelle, anche se viene lasciata, a discrezione del progettista, la possibilità di considerare aspetti da lui ritenuti importanti. L’analisi deve essere ovviamente documentata ed al termine della stessa si ricava la categoria illuminotecnica di progetto oppure eventuali sotto-categorie di esercizio legate ad una variazione dei flussi di traffico in merito alle quali eseguire la progettazione. La norma UNI 11248 e le norme UNI 13201/2/3/4 individuano, quindi, prescrizioni illuminotecniche per aree di pubblica circolazione di traffico di tipo veicolare, ciclabile e pedonale definendo alcuni parametri assieme alle analisi da effettuare. Ovviamente, accanto a queste indicazioni, la normativa prevede la redazione di un piano di manutenzione indicando e quantificando le operazioni da eseguire, con scadenze di tipo temporale, per il mantenimento delle prestazioni dell’impianto. Più specificamente:

- nell’appendice A della UNI 11248 sono riportati suggerimenti ed esempi atti alla valutazione delle categorie illuminotecniche in funzione di parametri considerabili nell’Analisi dei Rischi.
- nell’appendice B vengono indicate note relative alla determinazione delle categorie illuminotecniche per le strade di tipo E.
- nell’appendice C sono presenti note relative alle intersezioni stradali (incroci, rotatorie) con informazioni sulla loro classificazione e sul calcolo delle stesse.

- nell'appendice D è indicata la caratterizzazione delle pavimentazioni stradali necessarie come riferimento da utilizzare nel calcolo delle luminanze.

L'analisi dei rischi, come suddetto, deve essere effettuata attraverso una serie di step successivi:

- un sopralluogo per valutare lo stato esistente e determinare una gerarchia tra i parametri di influenza rilevanti (incroci, alberature, mancanza di visuale, ecc);
- è sufficiente poi che il progettista basi l'analisi dei rischi sulle prescrizioni legate alla categoria di riferimento condizionata dai parametri di influenza suggeriti dalla norma;
- nei casi complessi (incroci, svincoli, notevole flusso di traffico, situazioni conflittuali) il progettista dovrà avvalersi dei dati statistici sul traffico, incidenti, condizioni meteorologiche avverse, continuità, elaborandoli con metodi statistici.
- creazione di una gerarchia di interventi per assicurare livelli di sicurezza richiesti da leggi e norme.

(Tab 7 – Norma UNI 13201)

Strada	indipendenti (min)	senso di marcia (min)	minimi
A- autostrada	2	2+2	
B- extraurbana principale	2	2+2	tipo tangenziali e superstrade
C- extraurbana secondaria	1	1+1	- con banchine laterali transitabili - S.P. oppure S.S
D- urbana a scorrimento veloce	2	2+2	limite velocità >50Km/h
D- urbana a scorrimento	2	2+2	limite velocità <50 Km/h
E- urbana di quartiere	1	1+1 o 2 nello stesso senso di marcia	-solo proseguimento strade C -con corsie di manovra e parcheggi esterni alla carreggiata
F- extraurbana locale	1	1+1 o 1	Se diverse strade C
F- urbana interzonale	1	1+1 o 1	Urbane locali di rilievo che attraversano il centro abitato
F- urbana locale	1	1+1 o 1	Tutte le altre strade del centro abitato

Per le strade di tipo “F” rurale oppure locali urbane, se sono previsti elementi di illuminazione, vicino agli incroci, non sono richieste prescrizioni per i livelli di illuminazione, ma solo per la categoria G3 per limitare l'abbagliamento. Qualora non sia calcolabile il parametro di luminanza delle strade secondo la UNI EN 13201-3 si deve utilizzare la categoria illuminotecnica di livello comparabile.

Nella norma UNI EN 13201-2 vengono definiti, attraverso requisiti fotometrici da rispettare in quantità e qualità, le categorie illuminotecniche per l'illuminazione stradale volte a soddisfare le esigenze degli utenti, siano essi motorizzati o ciclopeditoni. Al termine dei processi di analisi espressi nelle normative nazionali di riferimento (per l'Italia la UNI 11248), il progettista avrà individuato le categorie

illuminotecniche su cui basare il proprio progetto; queste categorie possono appartenere a 3 macrofamiglie:

- strade a traffico motorizzato per condizioni atmosferiche bagnate o asciutte come allegato in tabella di normativa ME ed MEW;
- aree a traffico motorizzato in cui è possibile ricorrere al calcolo della luminanza (incroci, strade commerciali, rotonde) come allegato in normativa nelle tabelle CE;
- le categorie illuminotecniche S ed A si riferiscono a strade ciclopedonali come marciapiedi o piste ciclabili, ma anche corsie di emergenza. Si possono anche applicare a strade urbane, pedonali, aree di parcheggio, strade interne.
- Le aree ES sono da riferirsi a completamento delle aree A ed S quando il progettista lo ritenga opportuno per aumentare la sensazione di sicurezza.
- La categoria illuminotecnica EV è riferita agli illuminamenti verticali da impiegare nelle situazioni dove sia necessario evidenziare superfici verticali, aree di intersezione o di conflitto.

La terza parte della normativa UNI EN 13201-3, descrive le convenzioni e le formule da applicare per ricavare i parametri prestazionali.

Per il calcolo bisogna specificare che l'osservatore diventa 1 per corsia (rispetto alla normativa precedente UNI10439 in cui vi era un osservatore generale) posizionato al suo centro ad altezza di 1,5mt. Per ogni osservatore, cioè per ogni punto di osservazione si calcolano i valori fotometrici cioè la luminanza media per l'intera carreggiata, l'uniformità generale e quella longitudinale nonché l'indice di abbagliamento. Uno dei parametri più difficili da ottenere è proprio l'uniformità che imporrà quindi al progettista un light design più attento sia alla scelta dei prodotti da impiegare sia all'individuazione di geometria di impiego corretta.

3.3 LA NORMA UNI 11248 ADOTTATA DALL'ITALIA

Per l'illuminazione stradale, come suddetto l'Italia ha adottato la norma UNI 11248; tale norma stabilisce:

- come classificare una zona esterna destinata al traffico ai fini della determinazione della categoria illuminotecnica che le compete;

- fornisce la procedura per la selezione delle categorie illuminotecniche che competono alla zona classificata;

- identifica gli aspetti che condizionano l'illuminazione stradale e, attraverso la valutazione dei rischi, permette il conseguimento del risparmio energetico e la riduzione dell'impatto ambientale;

- fornisce le prescrizioni sulle griglie di calcolo contenute nella UNI EN 13201-3 e per le misurazioni in loco trattate nella UNI EN 13201-4.

La norma non fornisce:

- linee guida sulla determinazione delle condizioni di illuminazione in tutti i casi in cui prevalgono esigenze estranee a quelle della sicurezza della circolazione veicolare o pedonale;

- criteri per determinare le prestazioni dell'impianto di illuminazione in condizioni ambientali avverse;

- modalità di manutenzione dell'impianto di illuminazione;

- inoltre la norma introduce una serie di definizioni e di criteri di scelta riguardanti le categorie illuminotecniche:

Per categoria illuminotecnica si intende una condizione di illuminazione in grado di soddisfare i requisiti per l'illuminazione di una data zona di studio. La categoria illuminotecnica di riferimento è invece determinata, per un dato impianto, considerando esclusivamente la classificazione delle strade. La categoria illuminotecnica di progetto è ricavata, per un dato impianto, modificando la categoria illuminotecnica di riferimento in base al valore dei parametri di influenza considerati nella valutazione del rischio. Mentre per categoria illuminotecnica di esercizio si indicano le condizioni di illuminazione prodotte da un dato impianto in uno specifico istante della sua vita oppure in una definita e prevista condizione operativa. La categoria illuminotecnica di esercizio varia a seconda dei parametri di influenza previsti, intendendo per parametri di influenza il flusso di traffico e la presenza o assenza di zone di conflitto.

Le categorie illuminotecniche si individuano secondo i seguenti passi:

- la definizione della categoria illuminotecnica di riferimento;

- si suddivide la strada in una o più zone di studio con condizioni omogenee dei parametri di influenza;

- per ogni zona di studio si identifica il tipo di strada la cui classificazione non è però responsabilità del progettista;

- noto il tipo di strada, si individua con l'ausilio del prospetto n°1 della norma, la categoria illuminotecnica di riferimento.

Per la valutazione dei parametri di influenza si procede innanzitutto con sopralluoghi con l'obiettivo di valutare lo stato esistente e determinare una gerarchia tra i parametri rilevanti per le strade esaminate. Quindi si effettua lo studio preliminare del rischio determinando gli eventi potenzialmente pericolosi e

classificandoli in funzione della gravità. Successivamente si determina una programmazione strategica con una scala di priorità, per le azioni più efficaci in termini di sicurezza per gli utenti.

Inoltre la norma, in base alla categoria illuminotecnica, prevede il seguente schema da rispettare per i valori di luminanza:

Parametro di influenza		Variazione categoria illuminotecnica	Non si applica a
Compito visivo normale		-1	A ₁
Condizioni non conflittuali			
Flusso di traffico <50% rispetto al massimo			
Flusso di traffico <20% rispetto al massimo		-2	
Segnaletica cospicua nelle zone conflittuali		-1	
Colore della luce	con indice di resa dei colori maggiore o uguale a 60 si può ridurre la categoria illuminotecnica	-1	
	con indice di resa dei colori minore di 30 si deve incrementare la categoria illuminotecnica	1	
Pericolo di aggressione		1	
Presenza di svincoli e/o intersezioni a raso			
Prossimità di passaggi pedonali			
Prossimità di dispositivi rallentatori			
*) In relazione a esigenze di visione periferica verificate nell'analisi dei rischi.			

(Tab 8/9 – Norma UNI 13201)

Class	Luminance of the road surface of the carriageway for the dry road surface condition			Disability glare T _l in % ^a [maximum]	Lighting of surroundings S _l ^b [minimum]
	\bar{L} in cd/m ² [minimum maintained]	U_1 [minimum]	U_2 [minimum]		
ME1	2,0	0,4	0,7	10	0,5
ME2	1,5	0,4	0,7	10	0,5
ME3a	1,0	0,4	0,7	15	0,5
ME3b	1,0	0,4	0,6	15	0,5
ME3c	1,0	0,4	0,5	15	0,5
ME4a	0,75	0,4	0,6	15	0,5
ME4b	0,75	0,4	0,5	15	0,5
ME5	0,6	0,35	0,4	15	0,5
ME6	0,3	0,35	0,4	15	no requirement

^a An increase of 5 percentage points in T_l can be permitted where low luminance light sources are used. (see note 3)

^b This criterion can be applied only where there are no traffic areas with their own requirements adjacent to the carriageway.

$$U_0 = \frac{L_{min}}{L_{med}}$$

$$U_1 = \min \left(\frac{L_{min}}{L_{med}} \right)$$

Un altro valore fondamentale è l'illuminamento medio sulla porzione immediatamente fuori dalla carreggiata; descritta dalla normativa UNI EN 13201-2/2004 come “surround ratio”.

Capitolo 4: Applicazioni illuminotecniche

APPLICAZIONE: STUDIO DEI LUX SVILUPPATI DALLE DIVERSE TECNOLOGIE DI ILLUMINAZIONE IN COMMERCIO ALL'INTERNO DI UNA SALA RISTORANTE

Verrà studiata l'illuminazione di una sala-ristorante di circa 156 mq: la sala è costituita da pareti e pavimenti chiari, nonché da arredi anch'essi di colore chiaro, mentre la sala adibita a ristorante si configura come una sala self/service. Dalla tabella della norma UNI 12464, i lux medi da sviluppare nell'ambiente sono pari a 200 sul piano di lavoro cioè sulla superficie utile.

Si effettuerà una simulazione applicando un impianto di n°30 fari delle quattro tipologie illuminotecniche studiate al paragrafo 1.2. In effetti, per effettuare un confronto tra tecnologie paragonabili bisogna confrontare impianti che, così costituiti, forniscano le medesime prestazioni illuminotecniche.

Inoltre si valuterà la variazione dei lux nell'installazione di tali tecnologie a seconda della variazione dell'altezza dell'ambiente studiato a partire dai 2,80m fino ai 4,00m. Il confronto fra impianti differenti verrà effettuato tenendo presente i punti fondamentali alla base del sistema studiato che devono essere rispettati per ogni tecnologia applicata:

5.2	Ristoranti e hotel				
N° riferimento	Tipo di interno, compito o attività	E_m lx	UGR _L	P_s	Note
5.2.1	Accettazione (reception), cassa, portineria	300	22	80	
5.2.2	Cucina	500	22	80	Dovrebbe esserci una zona di transizione tra la cucina e il ristorante.
5.2.3	Ristorante, sala da pranzo, sala ricevimenti	-	-	80	L'illuminazione dovrebbe essere progettata per creare un'atmosfera appropriata.
5.2.4	Ristoranti self-service	200	22	80	
5.2.5	Buffet	300	22	80	
5.2.6	Sale conferenze	500	19	80	L'illuminazione dovrebbe essere regolabile.
5.2.7	Corridoi	1 00	25	80	Durante la notte sono accettabili livelli più bassi.

(Tab 10 – Norma uni 12464)

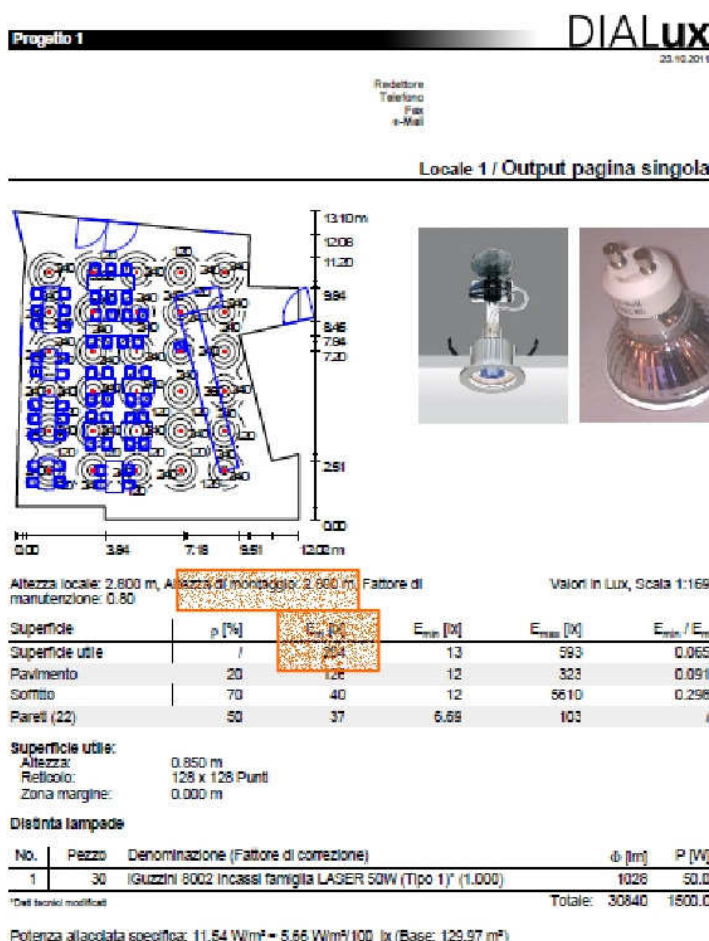
- il reticolo geometrico di installazione delle apparecchiature luminose deve rimanere invariato cioè l'interasse tra i fari deve rimanere lo stesso anche modificando le tecnologie (la variazione potrebbe infatti comportare un cambiamento del valore dei lux medi sviluppati);

- il numero di apparecchiature e sorgenti luminose studiate sarà pari a 30;

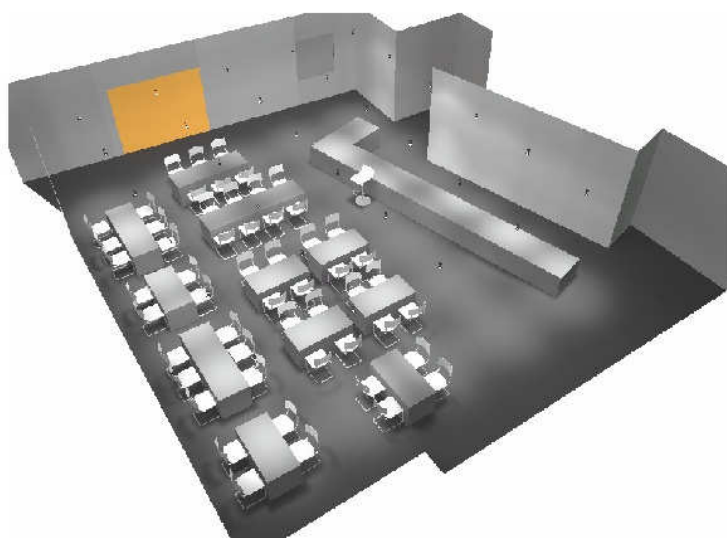
- i lux sviluppati devono essere quelli consigliati da normativa circa pari a 200;
- analisi delle proiezione dei consumi dei singoli sistemi nell'arco di un anno e nell'arco temporale di 10 anni.

4.1 APPLICAZIONE N°1 CON SOFTWARE DI CALCOLO (DIALUX) : IMPIANTO COSTITUITO DA FARI DA INCASSO CON LAMPADA ALOGENA

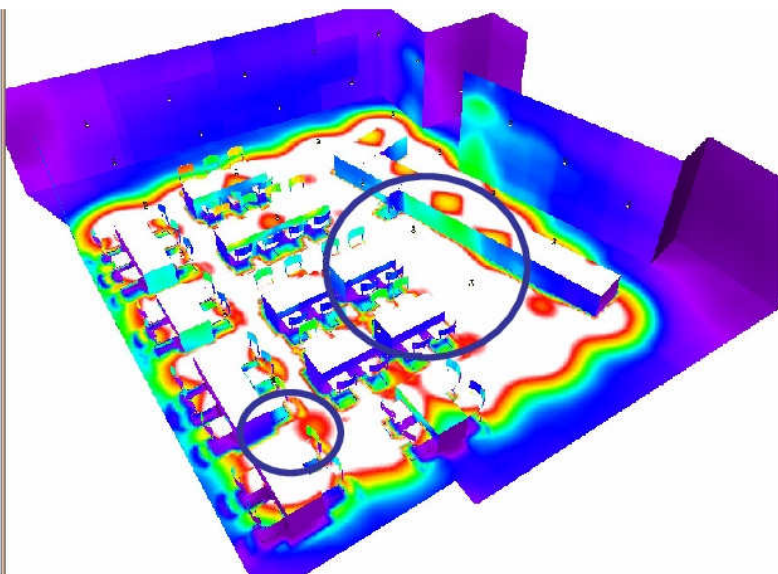
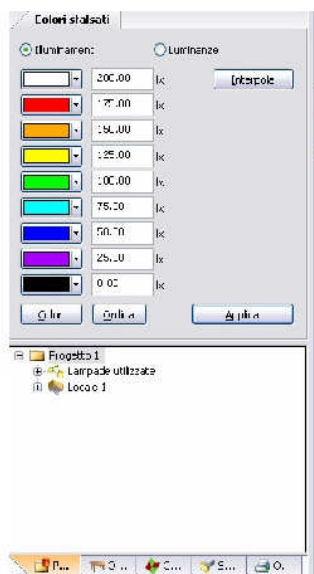
Si suppone di installare nella sala ristorante, n°30 fari con lampada alogena da 50W in un reticolo geometrico costituito da 6 righe e 5 colonne. I fari utilizzati sono dell'azienda IGuzzini mentre la lampada installata è una lampada della OSRAM dicroica da 50W con fascio di apertura di 36 gradi e trasformatore elettronico perché l'apparecchiatura funziona a 12V. La potenza nominale dei fari e delle lampade utilizzate è quella studiata precedentemente al paragrafo 1.2. Di seguito si riportano i risultati del software:



(Fig 35– Risultati illuminotecnica dell'impianto con fari alogeni)



(Fig 36– Simulazione dell'impianto con n°30 fari alogeni)



(Fig 37 - Simulazione dell'impianto alogeno a 200 lux)

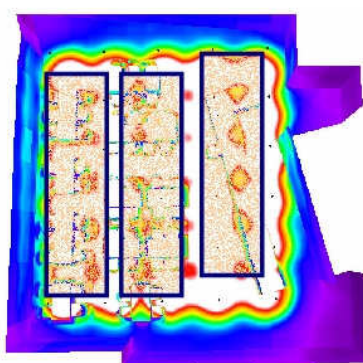
Il software mette in evidenza una diffusione dei 200 lux sul piano di lavoro abbastanza puntuale e non omogenea infatti sono presenti in alcune aree zone 175 e 150 lux espressione di un tipo di lampada, quella

alogeno dicroico, con fascio luminoso concentrato e predefinito. Facendo variare l'altezza del locale e di conseguenza l'altezza di installazione delle sorgenti luminose si ottiene una legge di variazione del flusso luminoso.

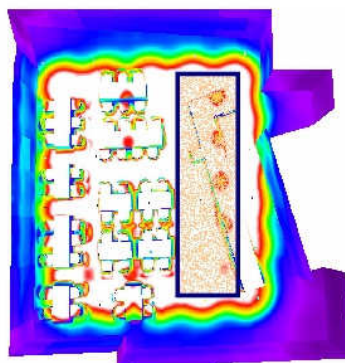
LUX	ALOGENA
H 2,80 m	204
H 3,00 m	202
H 3,20 m	200
H 3,40 m	198
H 3,60 m	196
H 3,80 m	194
H 4,00 m	191

(Figura 38 - Variazione dei lux sviluppati dall'impianto alogeno al variare dell'altezza dell'ambiente studiato.)

La variazione percentuale nella diminuzione dei lux sviluppati comporta un salto solamente tra i 3,80m ed i 4,00m; si analizza quindi meglio la diffusione dei 200 lux sul piano di lavoro.



(Fig 39- h:2,80m vengono messe in evidenza zone in cui il flusso luminoso non è a 200 lux.)

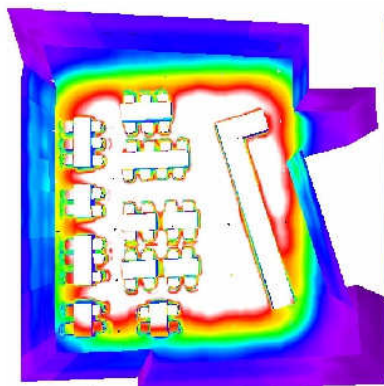


(Fig 40- h:3,00m diminuiscono le aree non a 200 lux.)

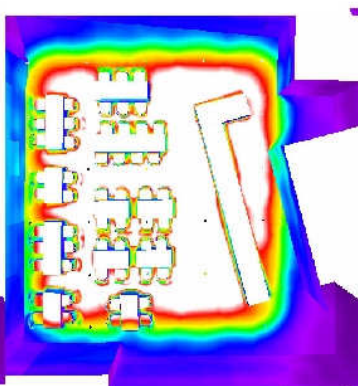


(Fig 41- h:3,20 il fascio luminoso si apre maggiormente facendo sparire le aree a meno di 200 lux.)

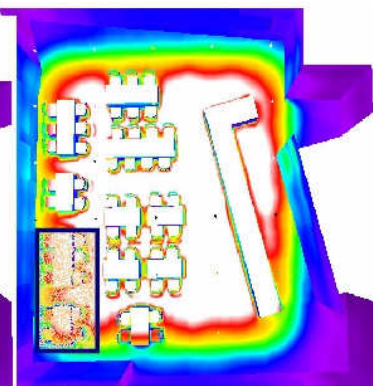
(Fig 42- h:3,40m luce diffusa a 200 lux sul piano di lavoro.)

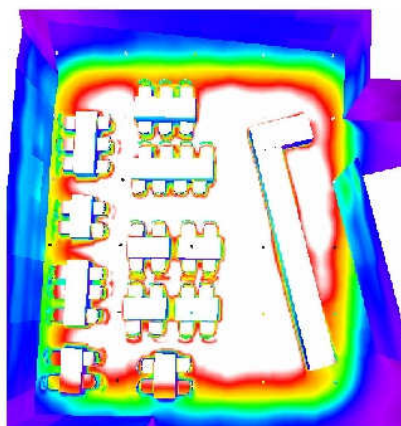


(Fig 43 - h:3,60m inizia il restringimento dell'area a 200 lux.)



(Fig 44- h:3,80m di diminuzione cre scente dell'area.)





(Fig 45 – h:4,00 m alcuni elementi al contorno risultano scarsamente illuminati a 200 lux)

Come affermato precedentemente, essendo la lampada alogena un tipo di lampada spot con fascio predefinito dovuto alla parabola dicroica interna, più viene aumentata l'altezza, più il fascio di luce diventa omogeneo passando dai 204 lux sviluppati inizialmente a 2,80m fino ai 4,00m dove siamo di 9 lux medi sotto al valore dettato da normativa, ma con uno spettro di diffusione dell'area a 200 lux più omogenea anche se risulta maggiormente ristretta la superficie utile sulla quale si apprezzano i 200 lux necessari soprattutto nell'area periferica.

(Fig 46– Variazioni dei lux in base all'altezza dei locali - alogena)



Diagrammando i risultati si ottengono dei primi punti della legge di variazione dello spettro luminoso a partire dall'impianto alogeno. Si vedrà dalle altre simulazioni come varieranno i valori di efficienza luminosa sul piano di lavoro a seconda della tecnologia impiegata.

4.2 APPLICAZIONE N°2 CON SOFTWARE DI CALCOLO (DIALUX) : IMPIANTO COSTITUITO DA FARI DA INCASSO CABLATI A LED

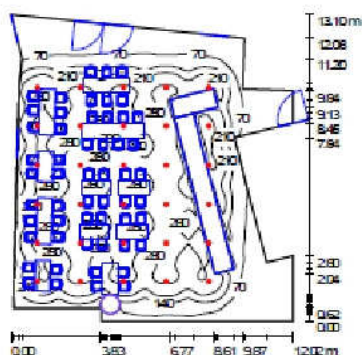
Si è sviluppata in seguito l'applicazione dello stesso numero di fari precedentemente studiati cioè 30 già cablati a led di potenza nominale pari a 18W. I fari utilizzati sono i nuovi fari della OSRAM downlight con fascio di apertura abbastanza diffuso rispetto a quello della lampada alogena. Anche in questo caso i fari sono applicati inizialmente a 2,80m di altezza disposti in 6 file da 5 fari in ciascuna fila. Effettuando il calcolo illuminotecnico nello stesso ambiente mediante software si evince che l'apparecchio a led diffonde una luce più omogenea dell'impianto alogeno già all'altezza di 2,80m cosa che ci si aspettava visto che il fascio di apertura di tale apparecchio è maggiore. In questo modo si ottiene da subito una luce più diffusa anche se la resa luminosa risulta di poco minore della lampada precedente e l'area illuminata di poco più piccola di quella ottenuta con la lampada di tipo alogeno pur avendo collocato i fari nella stessa posizione. Questo ci fa intuire che, a parità di numero di apparecchiature installate, per coprire esattamente la stessa superficie illuminata mantenendo i 200 lux richiesti, bisogna eventualmente aggiungere qualche corpo illuminante in più, o cambiare l'interasse tra gli apparecchi. La riduzione della superficie è comunque minima e le zone di ombra sono poche e le percepiamo solo perimetralmente all'area illuminata.

Sicuramente, a differenza dell'alogena in cui nella parte centrale illuminata si arriva a sviluppare 240 lux, con l'applicazione dell'apparecchio a led, nella parte centrale, si ottengono sul piano di lavoro circa 280 lux. La differenza non è eccessiva e per questo si può affermare che il led può sostituire, a livello di flusso luminoso, i fari tradizionali con un risparmio energetico considerevole passando dai 50W dell'alogena ai 18W dell'apparecchiatura led. In questo modo si può affermare che, sia in civili abitazioni che in ambienti commerciali in cui c'è necessità di non avere effetti particolari ma una luce diffusa soprattutto che non riscaldi l'ambiente, il led si presta molto bene alla sostituzione delle alogene traendone dalla sostituzione vantaggi di risparmio energetico.



(Fig 47- faro della OSRAM già cablato a led – luce 3000K – 18W)

Locale 1 / Output pagina singola



Altezza locale: 2.800 m, Altezza di montaggio: 2.500 m, Fattore di manutenzione: 0.80 Valori in Lux, Scala 1:169

Superficie	p [%]	E _a [lx]	E _{min} [lx]	E _{max} [lx]	E _{min} / E _m
Superficie utile	/	123	12	330	0.062
Pavimento	20	123	3.80	298	0.031
Soffitto	70	44	13	86	0.266
Pareti (22)	50	40	7.12	135	/

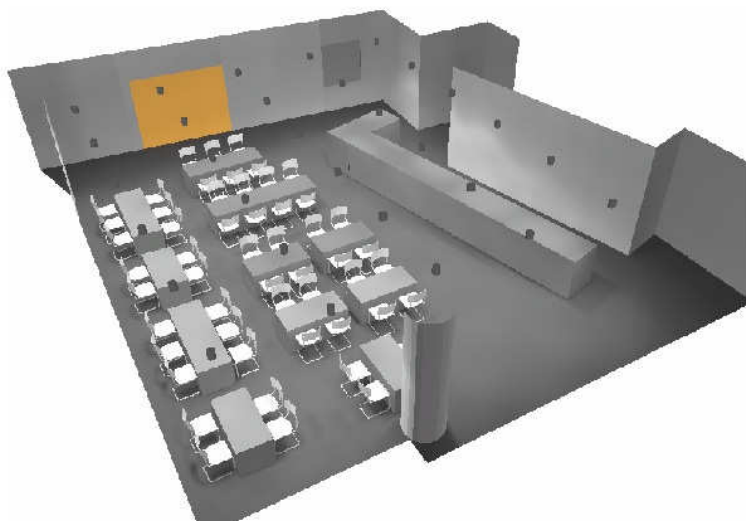
Superficie utile:
Altezza: 0.850 m
Reticolo: 128 x 128 Punti
Zona margine: 0.000 m

Distinta lampade

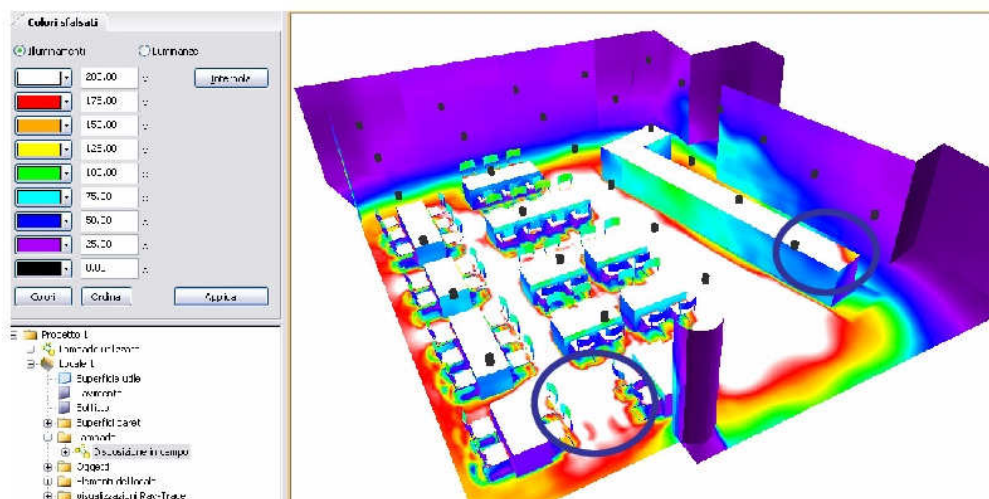
No.	Pezzo	Denominazione (Fattore di correzione)	Φ [mm]	P [W]
1	30	OSRAM 4006321955777 LEDVANCE DOWNLIGHT L 840 L60 WT (1.000)	1000	18.0
Totale:			30000	540.0

Potenza allacciata specifica: 4.15 W/m² = 2.09 W/m²/100 lx (Base: 129.97 m²)

(Fig 49.- Risultati illuminotecnica dell'impianto con fari a led)



(Fig 50- Simulazione dell'impianto con n°30 fari a led)

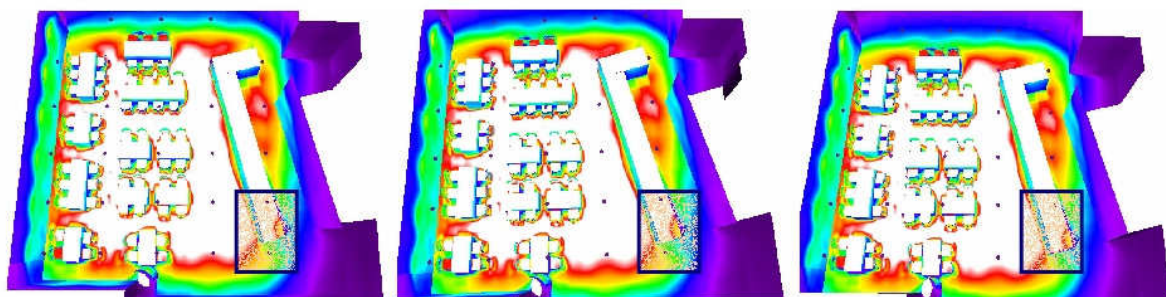


(Fig 51 – Simulazione dell'impianto a led a 200 lux)

LUX	ALOGENA	LED
H 2,80 m	204	199
H 3,00 m	202	196
H 3,20 m	200	191
H 3,40 m	198	187
H 3,60 m	196	185
H 3,80 m	194	182
H 4,00 m	191	180

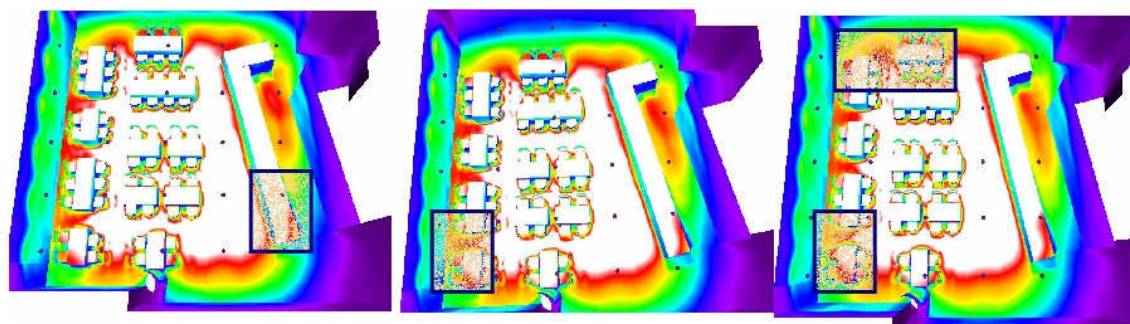
Dai 199 lux all'altezza di 2,80m si passa subito ai 196 lux con una variazione che non procede con passo costante, come per la lampada di tipo alogeno, ma l'intensità luminosa diminuisce saltando dai 199 ai 196 ai 191 e così via. Dalle proiezioni a varie altezze si può evidenziare un restringimento dell'area illuminata anche se restano presenti i 200 lux sul piano di lavoro nell'area centrale della simulazione.

(Fig 52- variazione dei lux dell'impianto led)



(Fig 53-b:2,80m nell'area periferica si notano già restringimenti dell'area a 200 lux.)

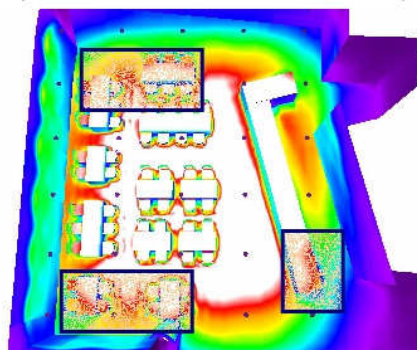
b: 3,20m



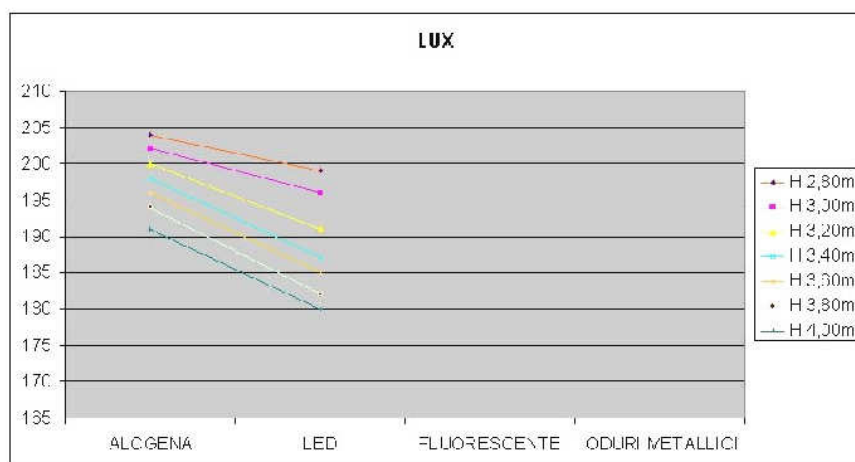
(Fig 49 - $b:3,40m$)

$b:3,60m$

$b:3,80m$



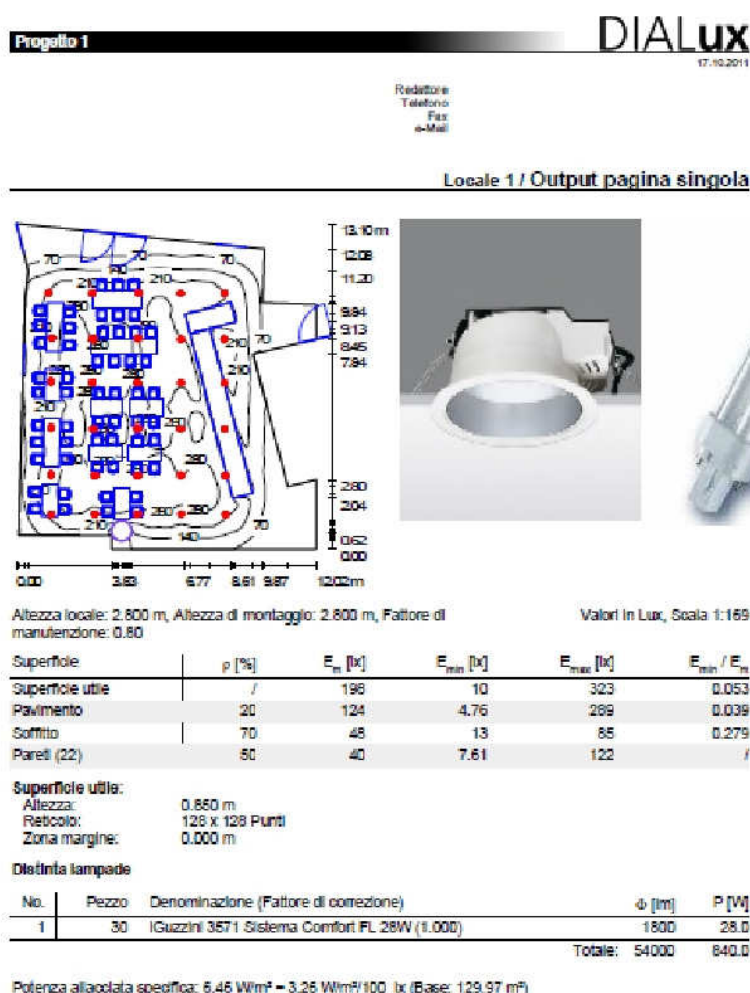
(Fig 54 - $b:4,00m$ la restrizione dell'area a 200 lux penalizza le aree periferiche.)



Dal diagramma si evince una di munizione del flusso luminoso passando dall'alogena al led non eccessivo che procede con legge lineare e comporta la possibilità di sostituzione della tecnologia tradizionale con quella innovativa.

4.3 APPLICAZIONE N°3 CON SOFTWARE DI CALCOLO (DIALUX) : IMPIANTO COSTITUITO DA FARI DA INCASSO CON REATTORE ELETTRONICO INCLUSO E LAMPADA A FLUORESCENZA.

Viene analizzato adesso lo stesso impianto costituito da n°30 fari con reattore elettronico e lampada a fluorescenza da 26W. I fari utilizzati sono sempre dell'azienda iGuzzini disposti su n°6 file costituite da n°5 fari ognuna e inizialmente studiati all'altezza di 2,80m.



(Fig 55.- Risultati illuminotecnica dell'impianto con fari a fluorescenza)

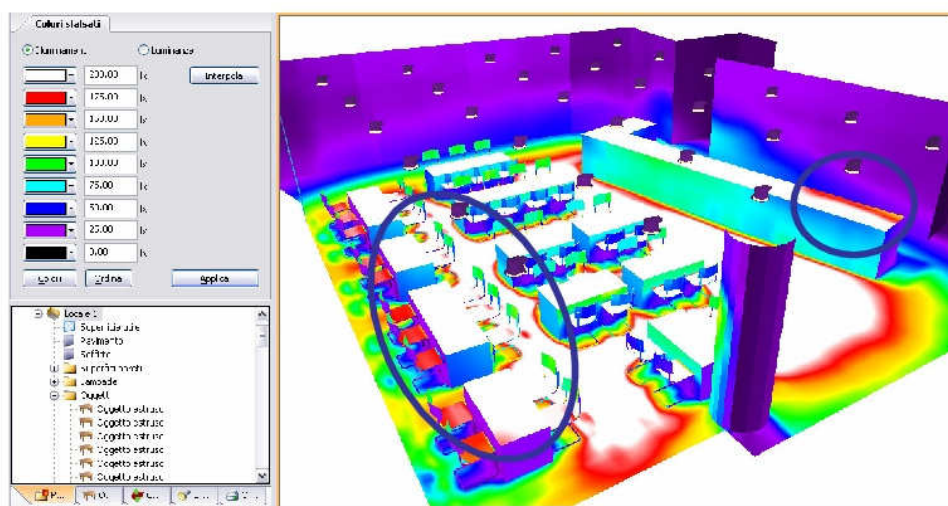
L'apparecchiatura studiata non reca ottiche interne aggiuntive che possono eventualmente variare l'emissione luminosa e di conseguenza, con l'installazione della lampada a fluorescenza da 26W, avremo un'emissione luminosa immediatamente diffuso sul piano di lavoro. Si parte a 2,80m da un'emissione media di 198 lux e questo sviluppo di poco minore rispetto alla lampada alogena è dovuto proprio all'assenza di fascio predefinito. Per questo motivo l'aggiunta magari di qualche lampada potrebbe comportare un'area diffusa maggiore; una delle problematiche evidenti fin da subito è il restringimento dell'area illuminata a 200 lux. Con questo tipo di apparecchiatura e tecnologia non si apprezzano aree di buio e di luce ottenendo, nell'area centrale, una resa luminosa di 280 lux che diminuisce verso la periferia a 210 lux fino ai 70 lux.



(Fig 56- Simulazione dell'impianto con n°30 fari a fluorescenza)

LUX	ALOGENA	LED	FLUORESCENTE
H 2,80 m	204	199	198
H 3,00 m	202	196	196
H 3,20 m	200	191	193
H 3,40 m	198	187	191
H 3,60 m	196	185	188
H 3,80 m	194	182	185
H 4,00 m	191	180	182

(Figura n°57- Variazione dei lux sviluppati dall'impianto fluorescente al variare dell'altezza dell'ambiente studiato.)



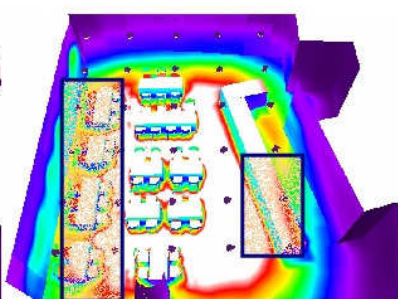
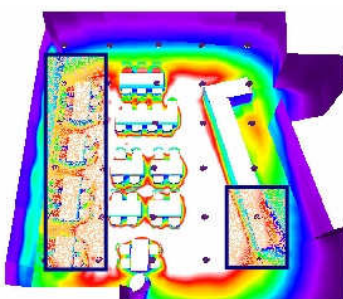
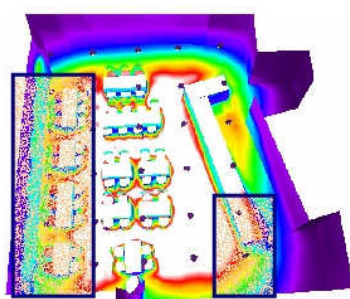
(Fig 58. – Simulazione dell'impianto fluorescente a 200 lux)

A differenza delle altre tecnologie utilizzate, applicando una luce di tipo diffuso come quella fluorescente si ottiene che aumentando l'altezza si diminuisce l'area illuminata a 200 lux considerevolmente. Si parte da un'illuminamento a 198 lux medio all'altezza di 2,80m fino ad arrivare ai 182 lux all'altezza di 4m.

(Fig 59 - h:2,80m)

h:3,00m

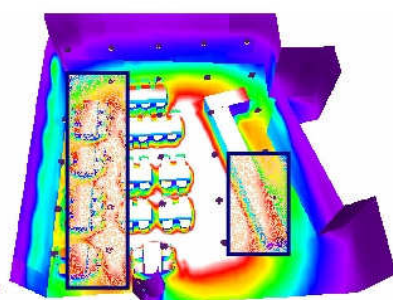
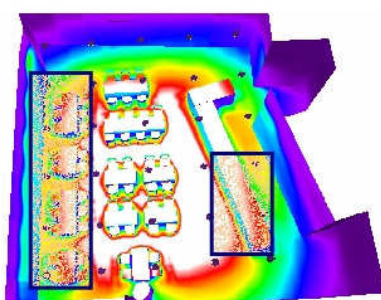
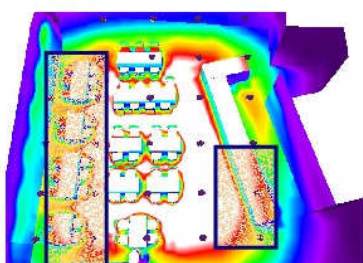
h:3,20m

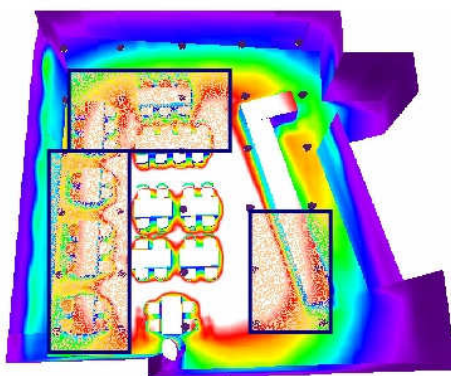


h: 3,40m

h:3,60m

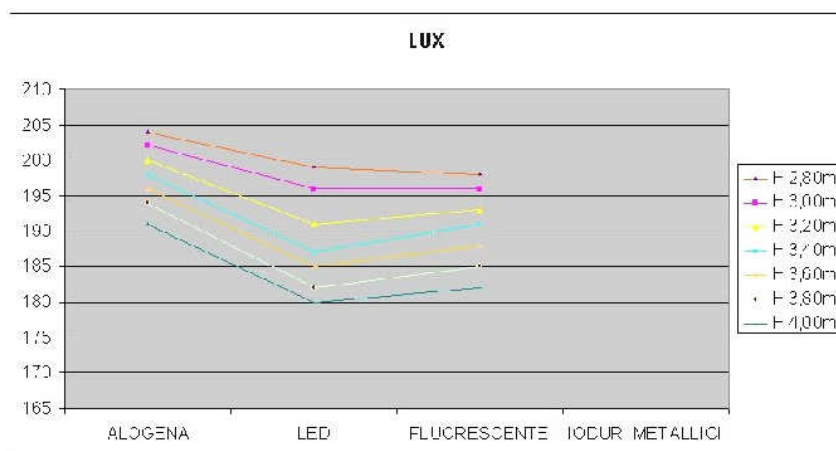
h:3,80m





(Fig 60 - h:4,00m risulta evidente la di munizione di tutta l'area a 200 lux)

Ovviamente come descritto in precedenza l'apparecchiatura è costituita da un faro ad incasso con reattore elettronico che determina l'accensione della lampada a fluorescenza contenente internamente il gas a neon. Il restringimento dell'area intorno ai 4 metri fa perdere nelle zone periferiche dell'area l'emissione luminosa imposta da normativa. Per questo motivo la lampada a fluorescenza risulta utile quando non dobbiamo coprire altezze eccessive; nel caso in cui l'ambiente da illuminare fosse più alto e volessimo applicare la medesima tecnologia dovremmo passare ad una potenza luminosa differente con fari costituiti ad esempio da n°2 lampade da 26W a fluorescenza oppure aumentando il numero dei corpi illuminanti. Si viene a delineare quindi un grafico di tipo lineare nella variazione di lux con segmenti che presentano, per ogni sezione, quasi un andamento di tipo parallelo cioè ad intervalli di diminuzione luminosa regolare.

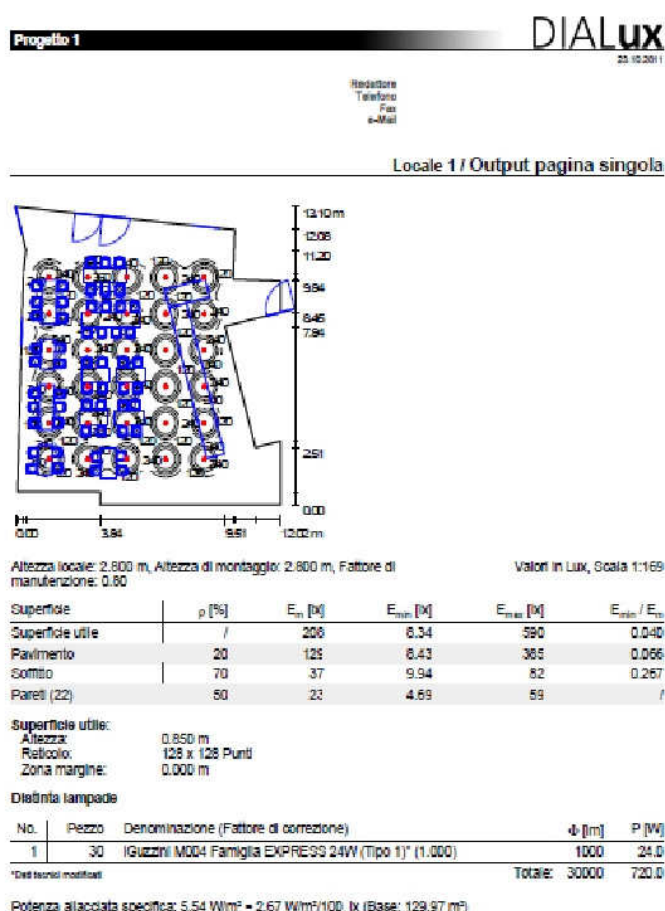


4.4 APPLICAZIONE N°4 CON SOFTWARE DI CALCOLO (DIALUX) : IMPIANTO COSTITUITO DA FARI DA INCASSO CON TRASFORMATORE ELETTRONICO E LAMPADA AGLI IODURI METALLICI.

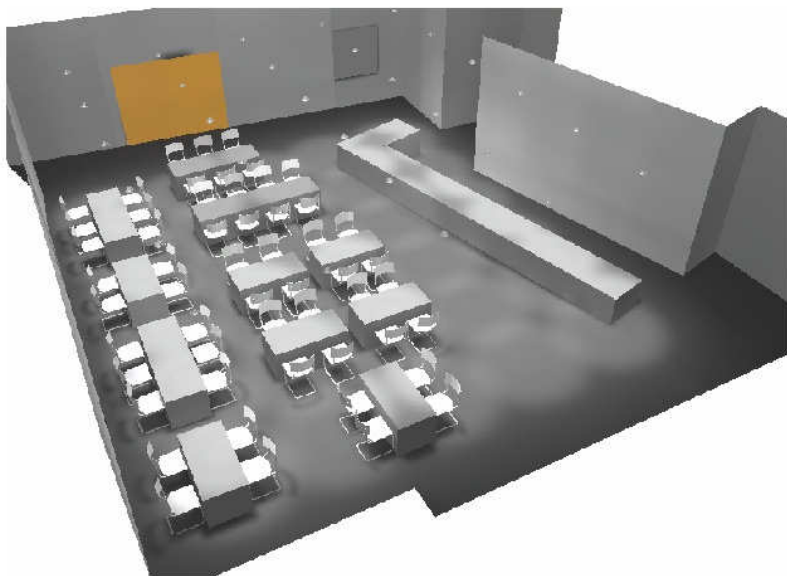
Viene analizzata adesso una tipologia di lampada molto diffusa negli ambienti di tipo commerciale per l'elevata emissione luminosa l'elevato risparmio energetico oltre che applicata all'illuminazione di tipo pubblico. Il calcolo illuminotecnico mette subito in evidenza, una tipologia di lampada che crea una luce concentrata e nonostante non abbia un fascio di apertura predefinito, si configura come un tipo di illuminazione "spot" con fasci proiettati ad "occhio di bue". Il faro utilizzato è sempre dell'azienda iGuzzini e non sono state inserite ottiche aggiuntive o filtri che direzionassero il flusso luminoso ma l'apparecchio funziona con trasformatore elettronico e la sorgente è una lampada agli ioduri metallici. La tipologia di luce è già evidente dalla prima immagine della simulazione in cui si sovrappongono coni luminosi che sembrano dei proiettori, creando zone di ombra e di luce. In questo caso quindi, molto di più

rispetto alla lampada di tipo alogeno, non si ottiene una diffusione luminosa omogenea ma otteniamo aree più illuminate e meno illuminate sovrapposte.

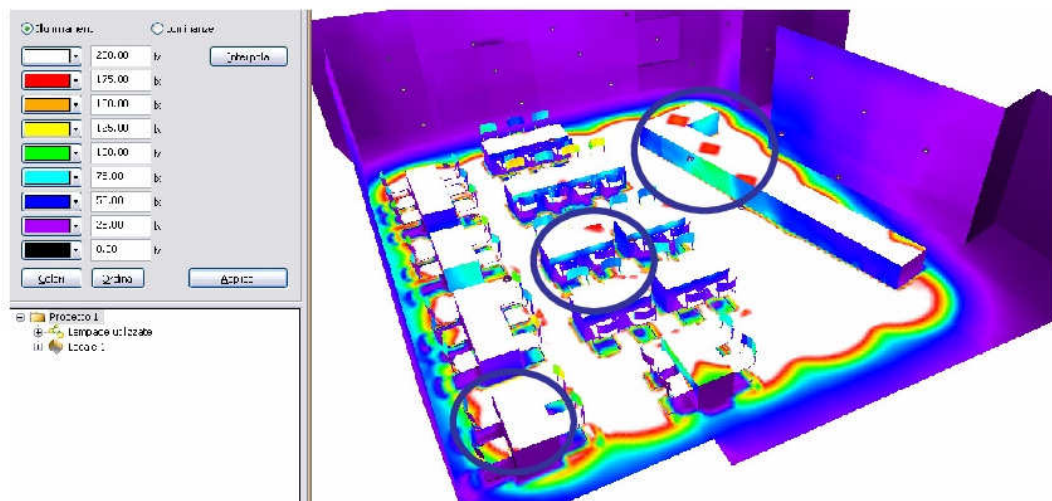
Il sistema analizzato è anche quello che, a partire dai 2,80m a salire, sviluppa i lux maggiori rispetto a tutte le altre tipologie di lampade studiate; per questo motivo da anni le lampade agli ioduri le ritroviamo in ambienti dove c'è necessità di una grande proiezione luminosa nelle destinazioni d'uso di tipo commerciale e all'esterno per l'illuminazione di parcheggi e strade di uso pubblico o privato.



(Fig 61.- Risultati illuminotecnica dell'impianto con fari agli ioduri metallici)



(Fig 62- Simulazione dell'impianto con n°30 fari agli ioduri metallici)



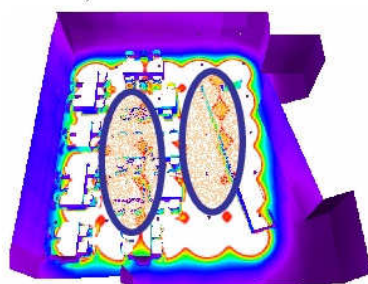
(Fig 63. – Simulazione dell'impianto agli ioduri metallici 200 lux)

LUX	ALCENA	LED	FLUORESCENTE	IODURI METALLICI
II 2,80 m	204	199	198	208
H 3,00 m	202	196	196	206
H 3,20 m	200	191	193	205
H 3,40 m	198	187	191	204
H 3,60 m	196	185	188	202
H 3,80 m	194	182	185	201
H 4,00 m	191	180	182	200

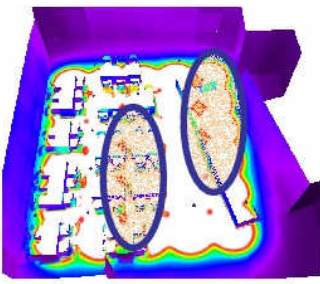
(Figura n°64- Variazione dei lux sviluppati dall'impianto agli ioduri al variare dell'altezza dell'ambiente studiato.)

Partendo da una proiezione di luce a 208 lux a 2,80m si rimane sempre entro i limiti di normativa a 4m dove l'illuminamento medio viene stimato dal software pari a 200 lux. Nelle immagini successive viene messo in evidenza come a quota inferiore la lampada agli ioduri crei zone di ombra a causa della tipologia di luce sviluppata, mentre all'aumentare dell'altezza la luce diventa omogenea sulla superficie utile.

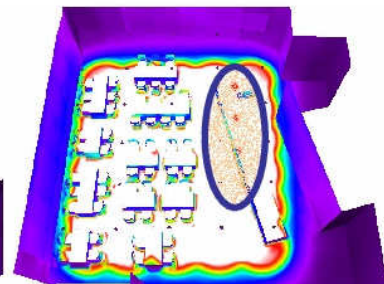
(Fig 65 - h:2,80m zone di ombra e luce)



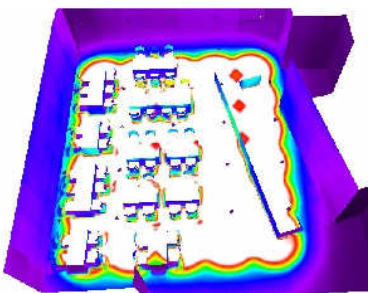
h:3,00m diminuiscono le aree a meno di 200 lux



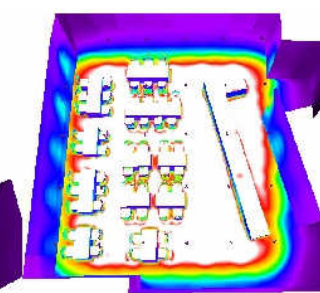
h:3,20m



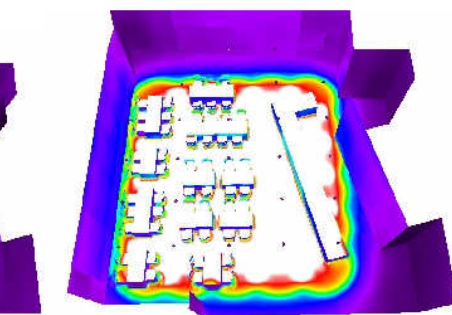
h: 3,40m

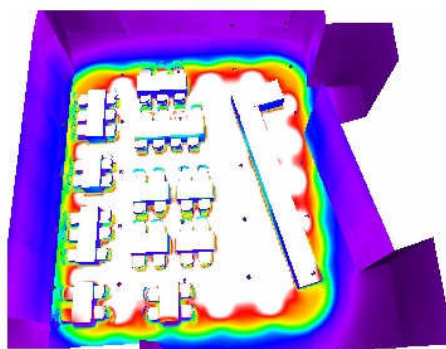


h:3,60m



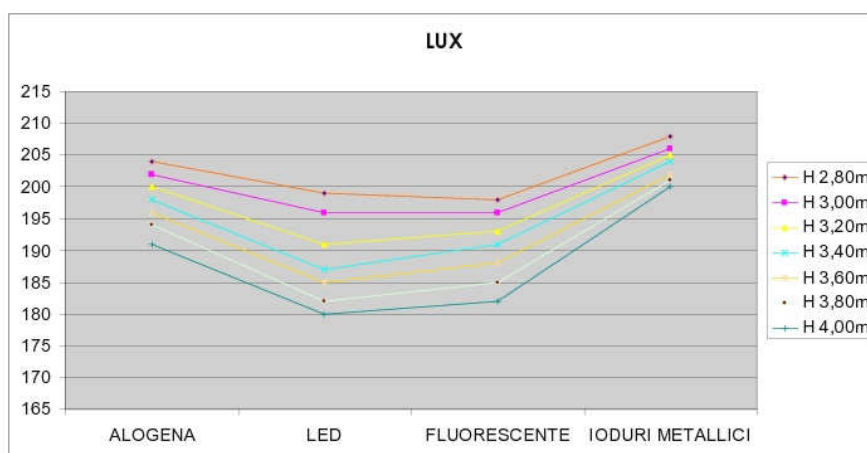
h:3,80m diffusione a 200 lux





(Fig 66 - $h:4,00m$ risulta omogenea la diffusione dell'area a 200 lux)

Anche la diminuzione dell'area illuminata si apprezza di meno rispetto alle altre tecnologie creando un'area illuminata a 200 lux molto netta, poco diradata nelle aree periferiche ottenendo emissioni luminose di circa 240 lux al di sotto della singola sorgente mentre pari a 120 lux alla periferia del cono luminoso sviluppato sempre dalla singola sorgente. Si ottengono quindi in questi casi effetti ad “occhio di bue” ad interasse predefinito che può essere eliminato diminuendo il passo tra le fonti luminose.



La legge di variazione è sempre di tipo lineare con tratti di pendenza quasi parallela e con la raggiunta di picchi di resa più elevati rispetto alle altre sorgenti analizzate.

Capitolo 5: Analisi costi – benefici delle simulazioni effettuate

5.0 PROIEZIONE ANNUALE DEI CONSUMI DELL'IMPIANTO ALOGENO: ANALISI COSTI-BENEFICI

CONFRONTO TRA SISTEMI IN 12 MESI	Apparecchio + lampada alogena + trasf.
Potenza apparecchio	50W - 0,050kWh
Num. di apparecchi	30
Lux sviluppati	204
Costo per punto luce	5(lampada)+10(apparec.)+4(traf.)
TOT - Costi iniziali impianto	570 €
Tariffa energia elettrica	0,15 €/kWh
Periodo di funzionamento annuale	4380 ore/anno
Durata media nominale	2000 ore
Consumo energ. dopo 12 mesi	$(0,050 \times 30) = 1,5$; $(1,5 \times 4380) = 6570 \text{ kWh}$
Operaio specializzato	26 euro/ora = $0,43 \times 15 \text{ minuti} = 7€$
Costo di sostituzione lampada	$(4380/2000) \times (5+7) = 2,19 \times 12 = 26,28$
Costo sostituz. intero sistema	$26,28 \times 30 = 788,4$
Tariffa energetica x intero sistema dopo 12 mesi	988 €
Costi totali di tutto il sistema dopo 12 mesi	2'344 €

(Tab 11 – Proiezione annuale alogena)

È stata effettuata successivamente una proiezione annuale dell'utilizzo dell'impianto di tipo alogeno. Si parte innanzitutto dal costo di ogni singolo punto luce senza valutare la manodopera per l'installazione iniziale supponendola uguale per ogni tipologia studiata. Il singolo punto luce è costituito da un faro con trasformatore e da una lampadina alogena dicroica di potenza nominale pari a 50W cioè di consumo pari a 0,05 kWh. Dall'indagine di mercato effettuata presso un'azienda che vende materiale illuminotecnico, si è stimato un costo medio pari a 5€ per la lampadina, di 10€ per l'apparecchio e di 4€ per il trasformatore valutando quindi un costo iniziale di 19€ a punto luce per un totale dell'investimento pari a 570€. Inoltre la casa costruttrice della sorgente luminosa stima una vita nominale della lampada pari a 2000 ore. Effettuando un semplice calcolo si può stimare quindi il consumo energetico espresso in kWh per l'intero anno pari a:

$(0,050 \text{ kWh} * 30) = (1,5 * 4380) = 6570 \text{ kWh/anno}$. Dal prezzario della regione Campania e dagli altri prezzari si può stimare in media il costo di un operaio specializzato per la manutenzione dell'impianto, cioè per il ricambio delle lampade al termine della loro vita nominale.

Supponendo cicli di accensione di 8 ore valutiamo i consumi energetici in bolletta per ogni impianto che risulta acceso all'anno 4380 ore. La cosa fondamentale da valutare è che la lampada alogena ha una vita nominale di sole 2000 ore comportando una sostituzione il primo anno che fa aumentare il costo dell'impianto in termini di gestione. Per quanto concerne i consumi energetici, i n°30 punti luce, sviluppando una potenza nominale da 50W si consumano in totale 6570kWh annui per un costo totale in bolletta pari a 986€. Inoltre stimando la manodopera di un operai specializzato intorno ai 7€ per la sostituzione in 15 minuti di una lampada applicando una media dei tariffari regionali otteniamo un costo di sostituzione totale a singolo punto luce di 26,28€. Ovviamente dopo le 2000 e le 4000 ore di esaurimento della vita nominale delle lampade si dovrà eseguire una sostituzione dell'intero sistema stimato pari a 788,4€. Ne deriva quindi una spesa totale dell'impianto in un anno pari alla somma di 788,4 costo di sostituzione, dell'investimento iniziale di 570€ ed in aggiunta la spesa energetica in bolletta pari a 986€.

5.1 PROIEZIONE A 10 ANNI DEI CONSUMI DELL'IMPIANTO ALOGENO: ANALISI COSTI – BENEFICI

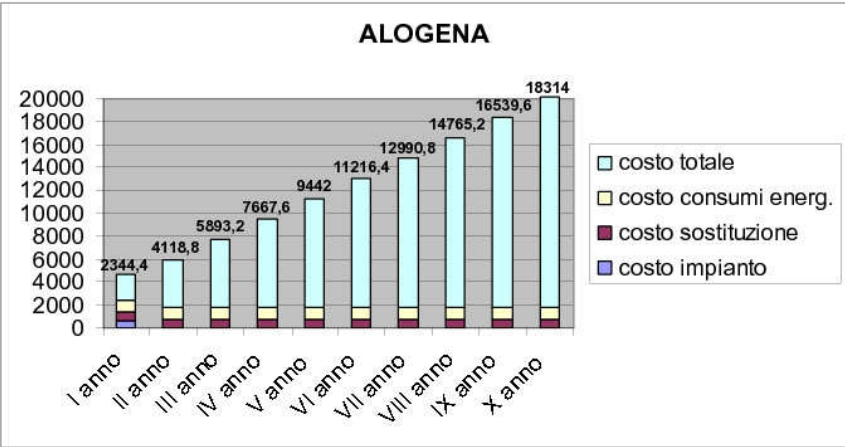
Vengono valutati adesso i consumi dello stesso impianto in una proiezione decennale considerando anche un'attualizzazione dei costi.

CONFRONTO TRA SISTEMI IN 120 MESI	Apparecchio + lampada alogena + trasf.
Potenza apparecchio	50W - 0,050kWh
Num. di apparecchi Lux sviluppati	3C 204
Costo per punto luce	5(lampada) + 10(apparecchi) + 4(trafa)
TOT - Costi iniziali impianto	570 €
Tariffa energia elettrica	0,15 €/kWh
Periodo di funzionamento annuale	4380 ore/anno
Durata media nominale	2000 ore
Costi durante il I anno	2344,4
Costi durante il II anno	90€(tariffa energ.) + 700,4(costo sostitu.sist.) = 774,4
Costi durante il III anno	1774,4
Costi durante il IV anno	1774,4
Costi durante il V anno	1774,4
Costi durante il VI anno	1774,4
Costi durante il VII anno	1774,4
Costi durante il VIII anno	1774,4
Costi durante il IX anno	1774,4
Costi durante il X anno	1774,4
Consumo energetico dopo 120 mesi	65700 kWh
Operale specializzato	26 euro/ora = 0,43 x 15 minuti = 7€
Costo di sostituzione lampada	$(43800/2000) \times (5+7) = 21,9 \times 2 = 262,8$
Costo sostituz. intero sistema in 120 mesi	$262,8 \times 9 = 7884$
Tariffa energetica x intero sistema dopo 120 mesi	9'860 €
Costi totali di tutto il sistema dopo 120 mesi	18'314 €
Rapporto CO ₂ / kWh	0,5 kg CO ₂ / kWh
Emissioni CO ₂ dopo 120 mesi	32050 kg CO ₂ /kWh

(Tab 12 – Proiezione a 10 anni alogena)

A causa della bassa vita nominale delle lampade alogene, ai 2344€ del primo anno bisogna sommare (evidenziati in tabella in viola) ogni anno i costi di sostituzione del sistema annualmente che, assieme alla bolletta energetica, incidono molto sull'aumento del costo di gestione dell'intero sistema facendolo diventare oneroso. Allo scadere del decimo anno di attività infatti, avendo valutato la sostituzione della sola lampada, il sistema ha fatto consumare al committente un prezzo di 18314€. Insomma siamo sulla

media di quasi 2000€ annui comportando anche un inquinamento non indifferente. In dieci anni abbiamo emissioni di anidride carbonica pari a 32850 kg, insomma un potere altamente inquinante che potrebbe essere di gran lunga ridotto con gli altri tipi di sistemi illuminanti in commercio.



(Tab 13 – Costi alogena)

Si possono porre i risultati in un diagramma sulle cui ascisse troviamo gli anni di funzionamento e sulle ordinate troviamo i costi riassunti nella banda azzurra. È evidente dal diagramma come incida sulla proiezione a 10 anni il costo di sostituzione fisso annuale dell'impianto oltre a quello dei consumi energetici che fanno aumentare costantemente i costi.

Supponendo di dilazionare in 10 anni il costo di 18324€ mediante una proiezione con rateizzo annuale ad un tasso di interesse bancario pari a 4,50% (tasso valutato applicando una media degli interessi sui mutui di varie banche) si ottengono n°10 rate da 2314,5€. Infatti supponendo di investire il capitale di 18314 si otterrà un totale di interessi che varierà dagli 824,13€ del primo anno ad un tasso del 4,50% fino ai 99,67€ sul totale residuo per una somma di 4831,02€ in 10 anni. Sommando tali interessi al capitale iniziale si ottiene un costo totale dell'investimento pari a 23145,02€. L'attualizzazione valutata pari a 19493,66€ rappresenta il costo opportunità, ovvero riflette gli impieghi alternativi del capitale che un'azienda o un committente avrebbe e di conseguenza il rendimento minimo che il progetto deve generare affinché possa creare valore per gli investitori. Le ragioni principali per cui un flusso di cassa o una serie di flussi di cassa futuri vengono attualizzati sono legate essenzialmente al costo opportunità del capitale: 1000 euro riscossi tra due anni valgono in realtà meno al tempo presente perché avere 1000 euro subito rappresenta una condizione economico-finanziaria migliore in quanto è possibile utilizzarli

eventualmente per ricavare nuovi capitali utili attraverso varie forme possibili di investimento oppure semplicemente per spenderli. Per quanto detto è necessario dunque scalare, ovvero scontare, il capitale o ciascun flusso di cassa futuro stimato, per un opportuno fattore di sconto, che è calcolato a partire dal tasso di sconto, e che è tanto maggiore quanto più il flusso di cassa da scontare/attualizzare è lontano nel tempo dal tempo presente. Nel caso dell'alogena, tra il capitale iniziale investito pari a 18314€ e il capitale attualizzato pari a 19493,66 abbiamo uno scarto di 1179,66€. Ovviamente minore è lo scarto tra i due valori minore è la spesa proiettata nel tempo a cui si andrà incontro.

Capitale	18314				
Interessi	4,50%				
Rate	10 annuali				
Rata	2314,5				
Tasso di sconto	3,25%				
A.M.	Rata	Q. cap.	Q. int	Val. attualizzato	Cap. residuo
1.12	2314,5	1490,37	824,13	2241,65	16823,63
2.12	2314,5	1557,44	757,06	2171,09	15266,19
3.12	2314,5	1627,52	686,98	2102,75	13638,67
4.12	2314,5	1700,76	613,74	2036,56	11937,91
5.12	2314,5	1777,3	537,21	1972,45	10160,61
6.12	2314,5	1857,27	457,23	1910,37	8303,33
7.12	2314,5	1940,85	373,65	1850,24	6362,48
8.12	2314,5	2028,19	286,31	1792	4334,29
9.12	2314,5	2119,46	195,04	1735,59	2214,83
10.12	2314,5	2214,83	99,67	1680,96	0
	23145	18313,99	4831,02	19493,66	

COSTO FINANZIARIO (INTERESSI AL 4,5% X 10 ANNI)	4'831,12 €
COSTO TOTALE DOPO RATEIZZO	23'145,02 €
VALORE ATTUALE DEL RATEIZZO DECENNALE	19'493,66 €

(Tab 14 – Piano di ammortamento alogena)

5.2 PROIEZIONE ANNUALE DEI CONSUMI DELL'IMPIANTO LED: ANALISI COSTI – BENEFICI

Si analizzarono in seguito i costi annuali dell'impianto a led. L'elemento che incide maggiormente è ovviamente l'investimento di acquisto iniziale; infatti ogni punto luce da installare costa ben 138,78€ per un totale di capitale iniziale pari a 4163,40€. Ovviamente se confrontati con i 570€ dell'impianto alogeno l'investimento risulta quattro volte maggiore, ma come si vedrà il costo iniziale viene di gran lunga ammortizzato nel corso del tempo.

CONFRONTO TRA SISTEMI IN 12 MESI	Apparecchio Led + alim.
Potenza apparecchio	18W - 0,018kWh
Num. di apparecchi	30
Lux sviluppati	199
Costo per punto luce	138,78
TOT - Costi iniziali impianto	4'163,40 €
Tariffa energia elettrica	0,15 €/kWh
Periodo di funzionamento annuale	4380 ore/anno
Durata media nominale	50000 ore
Consumo energ. dopo 12 mesi	$(0,018 \times 30) = 0,54;$ $(0,54 \times 4380) = 2365,2\text{kWh}$
Operaio specializzato	26 euro/ora = $0,43 \times 15$ minuti = 7€
Costo di sostituzione lampada	$(4380/50000) = 0,876$ trascurabile
Costo sostituz. intero sistema	-
Tariffa energetica x intero sistema dopo 12 mesi	354,78 €
Costi totali di tutto il sistema dopo 12 mesi	4518,18

(Tab 15 – Proiezione annuale led)

Il risparmio è da rintracciarsi proprio nella vita nominale dell'apparecchiatura a led pari a 50000 ore di autonomia e considerando anche che la sorgente led non si spegne all'improvviso come la luce alogena ma si potrà assistere ad un decadimento del flusso luminoso iniziale del 30%. Al costo di investimento iniziale non si somma alcun costo di manutenzione cioè di sostituzione dell'apparecchiatura ed un consumo energetico che è il più basso di tutte le altre tecnologie studiate. Si otterrà infatti un consumo annuale di 2365,2 kWh pari a 354,78€ di consumo elettrico riguardante il sistema che, aggiunto all'investimento

iniziale, porta ad un costo totale nel primo anno pari a 4518,18€. Si mette subito in evidenza come l'assenza del costo di manutenzione cioè di sostituzione della lampada comporti un risparmio in termini di materie prime ed in termini di costo della manodopera con un'autonomia del sistema molto elevata in tal senso. In più se si farà strada nel corso del tempo la possibilità di una standardizzazione del sistema led, nel caso del decadimento del flusso luminoso dell'apparecchiatura, dopo le ore di autonomia stimata dalle case costruttrici con test da stress della lampada, si potranno sostituire dopo le 50000 ore e più, le piastre con i diodi per riprendere il flusso luminoso originario baipassando il decadimento luminoso del 30%.

5.3 PROIEZIONE A 10 ANNI DEI CONSUMI DELL'IMPIANTO LED: ANALISI COSTI – BENEFICI

Viene valutato successivamente il funzionamento dell'impianto in una proiezione decennale mettendo in evidenza aspetti già emersi dallo studio proiettivo ad un anno di funzionamento.

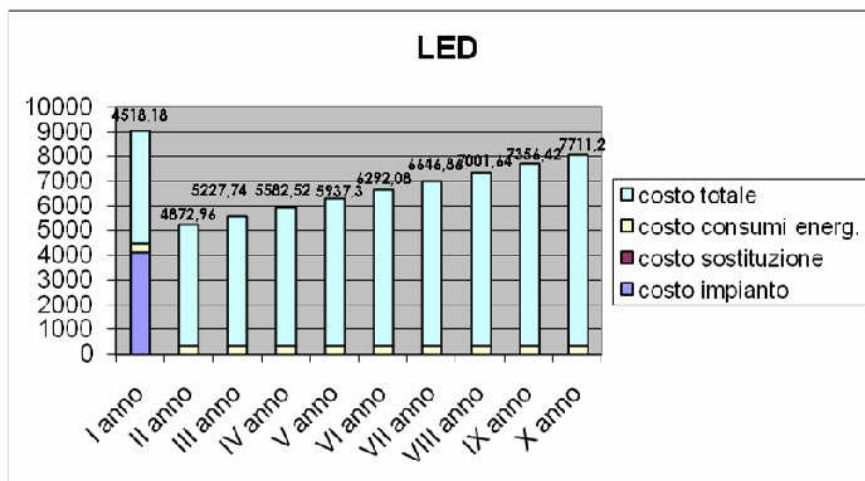
CONFRONTO TRA SISTEMI IN 120 MESI	Apparecchio Led + allm.
Potenza apparecchio	18vV - 0,018kW
Num. di apparecchi	30
Lux sviluppati	199
Costo per punto luce	198,78
TOT - Costi iniziali impianto	4'183,40 €
Tariffa energia elettrica	0,15 €/kWh
Periodo di funzionamento annuale	4380 ore/anno
Durata media nominale	50000 ore
Costi durante il I anno	4518,18
Costi durante il II anno	354,78
Costi durante il III anno	354,78
Costi durante il IV anno	354,78
Costi durante il V anno	354,78
Costi durante il VI anno	354,78
Costi durante il VII anno	354,78
Costi durante il VIII anno	354,78
Costi durante il IX anno	354,78
Costi durante il X anno	354,78
Consumo energetico dopo 120 mesi	23652kWh
Operaio specializzato	26 euro/ora = 0,43 x 15 minuti = 7€ (4380/50000) = 0,876 trascurabile
Costo di sostituzione lampada	-
Costo sostituz. intero sistema in 120 mesi	-
Tariffa energetica x intero sistema dopo 120 mesi	3'547,80 €
Costi totali di tutto il sistema dopo 120 mesi	7711,2
Rapporto CO ₂ / kWh	0,5 kg CO ₂ / kWh
Emissioni CO ₂ dopo 120 mesi	11826 kg CO ₂ /kWh

(Tab 16 – Proiezione a dieci anni led)

A parte l'investimento iniziale, non figura alcun costo di sostituzione o manutenzione proprio dovuto alle 50000 ore di vita nominale dell'apparecchio, cosa che comporta la stima solo dei consumi energetici annuali pari a 354,78€. Ne risulta che la somma dell'investimento iniziale più i costi di gestione ammontano alla fine dei 10 anni a 7711,2€. Anche le emissioni di anidride carbonica risultano ridotte

rispetto a tutte le altre tecnologie studiate e pari, nei dieci anni, a 11826 kg/kWh comportando un risparmio energetico ed una riduzione dell'inquinamento allo stesso tempo.

Il fabbisogno energetico si riduce molto ed è percepibile maggiormente dal seguente grafico:



(Tab 17 – Costi led)

Emerge quindi che al solo costo iniziale che è il picco più elevato dei costi, si sommano nel corso degli anni i costi delle bollette energetiche. Si considera adesso l'investimento applicato alla tecnologia studiata proiettandolo nell'arco dei 10 anni.

Capitale	7711,2				
Interessi	4,50%				
Rate	10 annuali				
Rata	974,53				
Tasso di sconto	3,25%				
A.M.	Rata	Q. cap.	Q. int.	Val. attualizzata	Cap. residuo
1.12	974,53	627,53	347	943,86	7083,67
2.12	974,53	655,77	318,78	914,15	6427,91
3.12	974,53	685,28	289,26	885,37	5742,63
4.12	974,53	716,11	258,42	857,5	5026,51
5.12	974,53	748,34	226,19	830,51	4278,18
6.12	974,53	782,01	192,52	804,37	3496,16
7.12	974,53	817,21	157,33	779,05	2678,95
8.12	974,53	853,98	120,55	754,53	1824,98
9.12	974,53	892,41	82,12	730,78	932,57
10.12	974,53	932,57	41,97	707,78	0
	9745,3	7711,21	2034,12	8207,9	

COSTO FINANZIARIO (INTERESSI AL 4.5% X 10 ANNI)	2'034,12 €
COSTO TOTALE DOPO RATEIZZO	9'745,32 €
VALORE ATTUALE DEL RATEIZZO DECENNALE	8'207,90 €

(Tab 18 – Piano di ammortamento led)

Studiando l'investimento iniziale e l'attualizzazione del capitale mettiamo in evidenza come, in questo caso invece, lo scarto sia di 496,7€ e quindi l'investimento non comporta eccessive spese anche perché il costo totale degli interessi allo stesso tasso in 10 anni risulta più contenuto.

5.4 PROIEZIONE ANNUALE DEI CONSUMI DELL'IMPIANTO A FLUORESCENZA: ANALISI COSTI – BENEFICI

Valutiamo l'investimento nel caso di un impianto con fari a fluorescenza di potenza nominale pari a 26W. Dal prospetto delle spese affrontate nel corso del primo anno, risulta evidente il peso iniziale del costo dell'investimento in quanto ogni punto luce, costituito dal faro con reattore

CONFRONTO TRA SISTEMI IN 12 MESI	Faro con reatt. + lampada a risparmio
Potenza apparecchio	26W - 0,026kWh
Num. di apparecchi	30
Lux sviluppati	198
Costo per punto luce	97,35(apparec.)+16(lampada)
TOT - Costi iniziali impianto	3'400,50 €
Tariffa energia elettrica	0,15 €/kWh
Periodo di funzionamento annuale	4380 ore/anno
Durata media nominale	8000 ore
Consumo energ. dopo 12 mesi	$(0,026 \times 30) = 0,78;$ $(0,78 \times 4380) = 3416,4\text{kWh}$
Operaio specializzato	26 euro/ora = $0,43 \times 15 \text{ minuti} = 7\text{€}$
Costo di sostituzione lampada	$(4380/8000) \times (16+7) = 0,547$ trascurabile
Costo sostituz. intero sistema	-
Tariffa energetica x intero sistema dopo 12 mesi	512,46 €
Costi totali di tutto il sistema dopo 12 mesi	3912,96

(Tab 19 – Proiezione annuale lampada a fluorescenza)

elettronico incluso e dalla lampada fluorescente da 26W di potenza, costa 113,35€. Durante il primo anno di funzionamento dell'impianto, essendo la lampada tarata per cicli di accensione di 8 ore annue ed avendo 8000 ore di vita nominale utile fino al decadimento del flusso luminoso, il costo di manutenzione risulta trascurabile. Per questo motivo l'incidenza della spesa si riassume esclusivamente nel costo di investimento iniziale e nel costo della bolletta energetica per cui si hanno 3416,4 kWh di consumi. Sommando il costo di tale tariffa pari a 512,46€ con i costi di investimento pari a 3400,50€ si ottiene un costo annuo pari a 3912,96€. Tale costo annuale si pone tra le spese dovute all'impianto di tipo alogeno e le spese invece dell'impianto led il cui costo annuale risulta quasi il doppio di quello a fluorescenza. Il

consumo in bolletta energetica per la tecnologia a led risulta ancora minore rispetto alle altre tecnologie studiate.

5.5 PROIEZIONE A 10 ANNI DEI CONSUMI DELL'IMPIANTO A FLUORESCENZA: ANALISI COSTI – BENEFICI

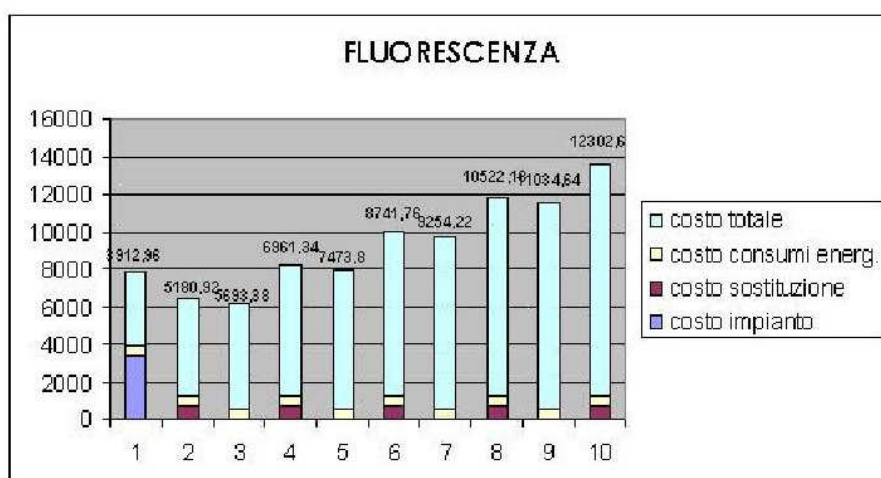
Si è successivamente elaborato un planning dei consumi in 10 anni dell'impianto fluorescente. Dall'analisi emerge subito come incida il costo di sostituzione dell'impianto ad anni alternati e dovuto alla vita nominale della lampada verificata dal costruttore. Stimando sempre il costo della manodopera per la sostituzione dell'impianto pari a 7€ ed aggiungendoci il costo di ricambio per i n°30 fari del sistema si ottiene un costo di manutenzione pari a 755,5€.

CONFRONTO TRA SISTEMI IN 120 MESI	Faro con reatt. + lampada a risparmio
Potenza apparecchio	26W - 0,026kWh
Num. di apparecchi	30
Lux sviluppati	198
Costo per punto luce	97,35(apparec.)+16(lampada)
TOT - Costi iniziali impianto	3'400,50 €
Tariffa energia elettrica	0,15 €/kWh
Periodo di funzionamento annuale	4380 ore/anno
Durata media nominale	8000 ore
Costi durante il I anno	3912,96
Costi durante il II anno	$(8760/8000) \times (16+7) = (1,095 \times 23) = 25,18 \times 30 = 755,5$ $755,5 + 512,46 = 1268$
Costi durante il III anno	512,46
Costi durante il IV anno	1268
Costi durante il V anno	512,46
Costi durante il VI anno	1268
Costi durante il VII anno	512,46
Costi durante il VIII anno	1268
Costi durante il IX anno	512,46
Costi durante il X anno	1268
Consumo energetico dopo 120 mesi	34164kWh
Operaio specializzato	26 euro/ora = $0,43 \times 15$ minuti = 7€
Costo di sostituzione lampada	$(4380/8000) \times (16+7) = 0,547$ trascurabile
Costo sostituz. intero sistema in 120 mesi	-
Tariffa energetica x intero sistema dopo 120 mesi	5'124,80 €
Costi totali di tutto il sistema dopo 120 mesi	12302,8
Rapporto CO ₂ / kWh	0,5 kg CO ₂ / kWh
Emissioni CO ₂ dopo 120 mesi	17082 kg CO ₂ /kWh

(Tab 20 – Proiezione a 10 anni lampada a fluorescenza)

Questa stima comporta una spesa fissa ogni due anni che fa incrementare notevolmente i costi di gestione dell'impianto fluorescente. Inoltre bisogna sommare a questi costi le spese della bolletta energetica che risultano pari a 512,46€ e che invece sono fisse ogni anno; ovviamente ad anni alternati il costo di gestione si impenna proprio a causa della necessità di sostituzione delle sorgenti luminose.

Si valuta infine il costo totale del sistema sommando al capitale iniziale investito più il costo di funzionamento durante il primo anno pari a 3912,96€ i costi di sostituzione che nell'arco di 10 anni hanno un totale di 3777,5€ ed il costo della bolletta energetica in 10 anni pari a 5124,6€. Il totale ottenuto nella proiezione risulta pari quindi a 12302,8€ inferiore ai consumi dell'alogeno e superiore di quelle a led.



(Tab 21 – Costi fluorescenza)

Dal grafico è evidente come l'incidenza iniziale dell'investimento è elevata e a questa si sommano in maniera discontinua dei picchi dovuti all'unione delle spese della bolletta e della sostituzione delle lampade. Inoltre è da mettere in evidenza un'emissione di anidride carbonica nel periodo studiato di molto inferiore alla lampada alogena e di un valore superiore ai 6000 kg rispetto al led.

Capitale	12302,8				
Interessi	4,50%				
Rate	10 annuali				
Rata	1554,81				
Tasso di sconto	3,25%				
A.M.	Rata	Q. cap.	Q. int	Val. attualizzato	Cap. residuo
1.12	1554,81	1001,19	553,63	1505,87	11301,62
2.12	1554,81	1046,24	508,57	1458,47	10255,37
3.12	1554,81	1093,32	461,49	1412,56	9162,05
4.12	1554,81	1142,52	412,29	1368,1	8019,53
5.12	1554,81	1193,93	360,88	1325,04	6825,59
6.12	1554,81	1247,66	307,15	1283,33	5577,93
7.12	1554,81	1303,81	251,01	1242,93	4274,13
8.12	1554,81	1362,48	192,34	1203,81	2911,65
9.12	1554,81	1423,79	131,02	1165,92	1487,86
10.12	1554,81	1487,86	66,95	1129,22	0
	15548,1	12302,8	3245,33	13095,25	

(Tab 22 – Piano di ammortamento impianto a fluorescenza)

Dal piano di ammortamento dell'impianto fluorescente si evidenzia come lo scarto tra il valore attualizzato ed il capitale iniziale sia pari a 792,45€.

5.6 PROIEZIONE ANNUALE DEI CONSUMI DELL'IMPIANTO AGLI IODURI METALLICI: ANALISI COSTI – BENEFICI

Lo studio dell'ultimo impianto applicato apre la strada alle considerazioni finali sulle valutazioni economiche ed energetiche delle tecnologie studiate. Viene quindi analizzata la proiezione della spesa in un anno per l'applicazione della lampada agli ioduri metallici.

CONFRONTO TRA SISTEMI IN 12 MESI	Faro+lampada ioduri metallici+alim.
Potenza apparecchio	20W - 0,020kWh
Num. di apparecchi	30
Lux sviluppati	208
Costo per punto luce	42,66(lampada)+34,72(alim.)+159,65(faro)
TOT - Costi iniziali impianto	7110,9
Tariffa energia elettrica	0,15 €/kWh
Periodo di funzionamento annuale	4380 ore/anno
Durata media nominale	15000
Consumo energ. dopo 12 mesi	$(0,020 \times 30) = 0,6;$ $(0,6 \times 4380) = 2628 \text{ kWh}$
Operaio specializzato	26 euro/ora = $0,43 \times 15 \text{ minuti} = 7€$
Costo di sostituzione lampada	$(4380/15000) = 0,29$ trascurabile
Costo sostituz. intero sistema	-
Tariffa energetica x intero sistema dopo 12 mesi	394,20 €
Costi totali di tutto il sistema dopo 12 mesi	7505,1

(Tab 22 – Piano annuale consumi ioduri metallici)

Dalla proiezione del primo anno, grazie all'elevata vita nominale della sorgente agli ioduri metallici, c'è da mettere in evidenza l'assenza del costo di sostituzione che non viene computato durante tale anno perché risulta inferiore all'unità e viene dunque considerato trascurabile. L'investimento iniziale risulta essere considerevole superiore all'impianto a led mentre il costo della bolletta energetica annuale di poco superiore al costo energetico della tecnologia led. Bisogna anche considerare, dalle simulazioni con software eseguite precedentemente, che la tecnologia agli ioduri è quella che ha portato al maggiore sviluppo di lux anche ad altezze maggiori. L'incidenza maggiore non sta tanto quindi nei consumi di tipo energetico, quanto alla spesa dovuta all'impianto iniziale che risulta essere la più costosa.

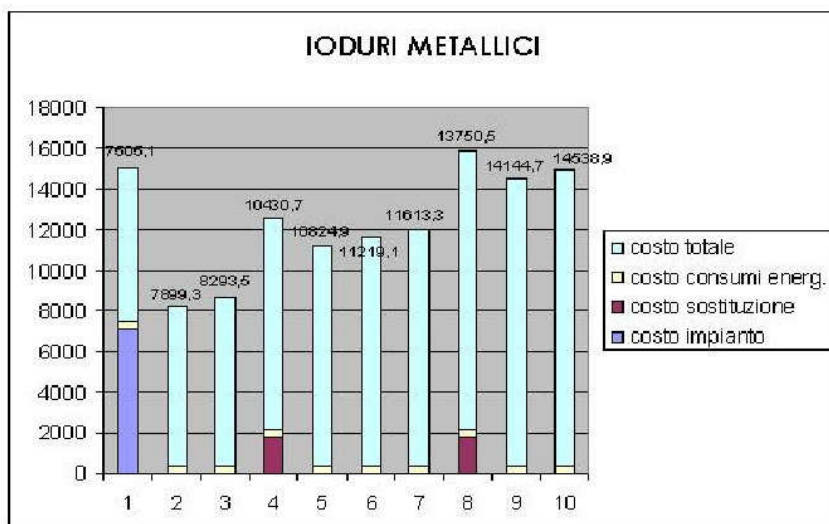
5.7 PROIEZIONE A 10 ANNI DEI CONSUMI DELL'IMPIANTO A GLI IODURI METALLICI: ANALISI COSTI – BENEFICI

Si illustra di seguito l'analisi di quella che per anni è stata, e lo è tutt'ora, la tecnologia maggiormente impiegata nel settore di tipo commerciale perché riesce a produrre effetti di illuminazione con la valorizzazione delle merci esposte grazie alla sua resa luminosa altamente performante.

CONFRONTO TRA SISTEMI IN 120 MESI	Faro+lampada ioduri metallici+alim.
Potenza apparecchio	20W - 0,320kWh
Num. di apparecchi	30
Lux sviluppati	208
Costo per punto luce	42,66(lampada)+34,72(alim.)+159,85(faro)
TOT - Costi iniziali impianto	7110,9
Tariffa energia elettrica	0,15 €/kWh
Periodo di funzionamento annuale	4380 ore/anno
Durata media nominale	15000
Costi durante il I anno	7505,1
Costi durante il II anno	€94,2
Costi durante il III anno	€94,2
Costi durante il IV anno	$(17520/15000) \times (42,66+7) = 1,17 \times 49,7 = 58,10$ $(58,10 \times 30) + €94,2 = 2137,2$
Costi durante il V anno	€94,2
Costi durante il VI anno	€94,2
Costi durante il VII anno	€94,2
Costi durante il VIII anno	$(17520/15000) \times (42,66+7) = 1,17 \times 49,7 = 58,10$ $(58,10 \times 30) + €94,2 = 2137,2$
Costi durante il IX anno	€94,2
Costi durante il X anno	€94,2
Consumo energetico dopo 120 mesi	23280kWh
Operaio specializzato	26 euro/cra = $0,43 \times 15 \text{ minuti} = 7€$
Costo di sostituzione lampada	$(4380/15000) = 0,29$ trascurabile
Costo sostituz. intero sistema in 120 mesi	-
Tariffa energetica x intero sistema dopo 120 mesi	3942,00 €
Costi totali di tutto il sistema dopo 120 mesi	14538,9
Rapporto CO ₂ / kWh	0,5 kg CO ₂ / kWh
Emissioni CO ₂ dopo 120 mesi	13140 kg CO ₂ /kWh

(Tab 23 – Piano a 10 anni consumi ioduri)

Nel caso della lampada agli ioduri metallici la sostituzione che incide sulla spesa totale viene computato ogni quattro anni. Per questa motivazione ciò che incide maggiormente sull'impianto non è tanto la tariffa energetica quanto il costo iniziale dell'impianto che risulta essere tra quelli studiati il costo maggiore. Ipotizzando quindi al termine della vita nominale delle lampade la sostituzione dell'intero impianto si ottiene un costo ultimo dell'impianto in totale pari a 14538,9€. Anche le emissioni di anidride carbonica risultano superiori, ma non in maniera considerevole, rispetto alle emissioni prodotte dal led.



(Tab 24 – Costi impianto ioduri)

Dal grafico sono molto chiari i picchi presenti al primo anno per l'investimento effettuato; al quarto e all'ottavo anno per la necessità di sostituire le sorgenti dell'intero sistema, mentre il costo energetico incide in maniera percentuale minore rispetto agli altri fattori.

Capitale	14538,9				
Interessi	4,50%				
Rate	10 annuali				
Rata	1837,41				
Tasso di sconto	3,25%				
A.M.	Rata	Q. cap.	Q. int	Val. attualizzato	Cap. residuo
1.12	1837,41	1183,16	654,25	1779,57	13355,74
2.12	1837,41	1236,4	601,01	1723,56	12119,34
3.12	1837,41	1292,04	545,37	1668,3	10827,3
4.12	1837,41	1350,18	487,23	1616,76	9477,12
5.12	1837,41	1410,94	426,47	1565,87	8066,18
6.12	1837,41	1474,43	362,98	1516,58	6591,75
7.12	1837,41	1540,78	296,63	1468,84	5050,87
8.12	1837,41	1610,12	227,29	1422,61	3440,86
9.12	1837,41	1682,57	154,84	1377,83	1758,29
10.12	1837,41	1758,29	79,12	1334,46	0
	18374,1	14538,91	3835,19	15475,38	

(Tab 25 – Piano di ammortamento dell'impianto agli ioduri)

Dal piano di ammortamento e dallo studio delle rate dell'investimento è necessario mettere in evidenza in questo caso uno scarto tra il capitale attualizzato ed il capitale iniziale pari a 936,48€.

Capitolo 6: Conclusioni

Dalle analisi effettuate nel corso dei mesi e dalla presa visione delle apparecchiature di nuova generazione in commercio e dallo studio della letteratura scientifica in merito si evince chiaramente che la tecnologia a led sta subendo un'evoluzione molto rapida anche grazie alla possibilità di modificarne determinati aspetti come l'emissione luminosa, la resa cromatica e la temperatura di colore. Difficile risulta ancora il sistema di dissipazione del calore tra i diodi e le piastre, ma soluzioni si stanno affacciando con ritmi veramente incalzanti sul mercato. Basti pensare che, fino a poco tempo addietro, la tecnologia a led non era ancora in grado di gareggiare con determinati tipi di sorgenti come quelle agli ioduri metallici, mentre adesso, a wattaggi contenuti, può essere impiegata come elemento sostitutivo. Per questo motivo il led si sta facendo strada in nuovi settori come quello commerciale, della ristorazione e di tipo alberghiero. L'impatto culturale che deve essere superato è legato innanzitutto al tipo di illuminamento emesso da tale sorgente che risulta più fredda e meno brillante e soprattutto dall'elevato costo iniziale che successivamente porta ad un risparmio. Quest'ultimo risulta positivo un po' in tutti i campi, da quello energetico, al minore impiego delle risorse prime a causa di una vita nominale lunga della sorgente fino al contenimento delle emissioni inquinanti di anidride carbonica. Al momento, dagli incontri effettuati con i tecnici della Philips lighting engineering, lo studio della sorgente si sta focalizzando sulla riduzione delle dimensioni e sulla potenza di emissione luminosa. Più problematico risulta il discorso dell'illuminazione pubblica esterna che si configura anche come argomento più complesso e meno semplice da gestire per i molteplici scenari che si possono verificare al contorno e perché la tecnologia non risulta ancora così sviluppata da poter effettuare paragoni con l'illuminazione tradizionale agli ioduri metallici. Per tutti questi motivi, ma soprattutto per il contenimento dei consumi energetici, la tecnologia a led, se sperimentata e portata al suo massimo rendimento può diventare la tecnologia di illuminazione per il futuro.

Inoltre sarebbe interessante, come sviluppo futuro, confrontare mediante simulazioni, le apparecchiature in commercio tradizionali per esterno con le apparecchiature per esterno a led.

Allegato Norma UNI EN 12464

5.3 Requisiti di illuminazione per interni (zone), compiti e attività

prospetto 5.1 **Zone di circolazione e spazi comuni all'interno di edifici**

1.1	Zone di circolazione				
N° riferimento	Tipo di interno, compito o attività	\bar{E}_m lx	UGR _L -	R _a -	Note
1.1.1	Zone di circolazione e corridoi	100	28	40	1) Illuminazione a livello pavimento. 2) R _a e UGR simili alle zone adiacenti. 3) 150 lx se ci sono veicoli sulla strada. 4) L'illuminazione di uscite o entrate deve prevedere una zona di transizione per tener conto delle differenze di illuminamento tra dentro e fuori, durante il giorno e la notte. 5) Si dovrebbe fare attenzione all'abbigliamento di mezzi e pedoni.
1.1.2	Scale, ascensori, tappeti mobili	150	25	40	
1.1.3	Rampe e binari di carico	150	25	40	
1.2	Sale di riposo, infermeria e pronto soccorso				
N° riferimento	Tipo di interno, compito o attività	\bar{E}_m lx	UGR _L -	R _a -	Note
1.2.1	Mense	200	22	80	
1.2.2	Locali di riposo	100	22	80	
1.2.3	Locali per l'esercizio fisico	300	22	80	
1.2.4	Guardaroba, gabinetti, bagni, toilette	200	25	80	
1.2.5	Infermeria	500	19	80	
1.2.6	Locali per visita medica	500	16	90	T _{CP} ≥ 4 000 K
1.3	Sale di comando o di controllo				
N° riferimento	Tipo di interno, compito o attività	\bar{E}_m lx	UGR _L -	R _a -	Note
1.3.1	Locali impianti, sala interruttori	200	25	60	
1.3.2	Locali telex, posta, quadri di controllo	500	19	80	
1.4	Magazzini/magazzini refrigerati				
N° riferimento	Tipo di interno, compito o attività	\bar{E}_m lx	UGR _L -	R _a -	Note
1.4.1	Magazzini, zone di stoccaggio	100	25	60	200 lx se occupato in continuo.
1.4.2	Zone di movimentazione, imballaggio, spedizione	300	25	60	
1.5	Magazzini con scaffali				
N° riferimento	Tipo di interno, compito o attività	\bar{E}_m lx	UGR _L -	R _a -	Note
1.5.1	Corridoi: senza personale	20	-	40	Illuminamento a livello pavimento.
1.5.2	Corridoi: con presenza personale	150	22	60	Illuminamento a livello pavimento.
1.5.3	Stazione di controllo	150	22	60	

prospetto 5.2 Attività industriali ed artigianali

2.1 Agricoltura					
N° riferimento	Tipo di interno, compito o attività	\bar{E}_m lx	UGR _L -	R _a -	Note
2.1.1	Carico e manovra delle merci, uso di attrezzatura e macchinario di movimentazione	200	25	80	
2.1.2	Edifici per il bestiame	50	-	40	
2.1.3	Zone per animali malati, celle parto	200	25	80	
2.1.4	Preparazione mangime, caseifici, lavaggio utensili	200	25	80	
2.2 Forni, panifici, pasticcerie					
N° riferimento	Tipo di interno, compito o attività	\bar{E}_m lx	UGR _L -	R _a -	Note
2.2.1	Preparazione, cottura al forno	300	22	80	
2.2.2	Finitura, glassatura, decorazione	500	22	80	
2.3 Cemento, prodotti in cemento, calcestruzzo, mattoni					
N° riferimento	Tipo di interno, compito o attività	\bar{E}_m lx	UGR _L -	R _a -	Note
2.3.1	Asciugatura	50	28	20	I colori di sicurezza devono essere riconoscibili.
2.3.2	Preparazione dei materiali, lavori al forno e ai miscelatori	200	28	40	
2.3.3	Lavorazioni generiche alle macchine	300	25	80	Per grandi altezze vedere punto 4.6.2.
2.3.4	Formature grossolane	300	25	80	Per grandi altezze vedere punto 4.6.2.
2.4 Ceramica, piastrelle, vetro, vetrerie					
N° riferimento	Tipo di interno, compito o attività	\bar{E}_m lx	UGR _L -	R _a -	Note
2.4.1	Asciugatura	50	28	20	I colori di sicurezza devono essere riconoscibili.
2.4.2	Preparazione, lavorazioni generiche alle macchine	300	25	80	Per grandi altezze vedere punto 4.6.2.
2.4.3	Smaltatura, laminatura, stampaggio, formatura di parti semplici, montaggio, soffiatura vetro	300	25	80	Per grandi altezze vedere punto 4.6.2.
2.4.4	Molatura, incisione, brillantatura vetro, formatura di precisione, fabbricazione strumenti in vetro	750	19	80	Per grandi altezze vedere punto 4.6.2.
2.4.5	Molatura di vetro ottico, cristallo, molatura manuale e incisione	750	16	80	
2.4.6	Lavori di precisione per esempio molatura decorativa, pittura a mano	1 000	16	90	$T_{CP} \geq 4\,000\text{ K}$
2.4.7	Lavorazione di pietre preziose sintetiche	1 500	16	90	$T_{CP} \geq 4\,000\text{ K}$
2.5 Industria chimica, della plastica e gomma					
N° riferimento	Tipo di interno, compito o attività	\bar{E}_m lx	UGR _L -	R _a -	Note
2.5.1	Impianto di processo controllato a distanza	50	-	20	I colori di sicurezza devono essere riconoscibili.
2.5.2	Impianto di processo con intervento manuale limitato	150	28	40	

2.5.3	Luoghi di lavoro in installazioni di processo con presenza continua di personale	300	25	80	
2.5.4	Ambienti per misurazione di precisione, laboratori	500	19	80	
2.5.5	Produzione farmaceutica	500	22	80	
2.5.6	Produzione di pneumatici	500	22	80	
2.5.7	Ispezione dei colori	1 000	16	90	$T_{CP} \geq 4\,000\text{ K}$
2.5.8	Taglio, finitura, ispezione	750	19	80	
2.6	Industria elettrica				
N° riferimento	Tipo di interno, compito o attività	E_m lx	UGR _L -	R_a -	Note
2.6.1	Fabbricazione di cavi e fili	300	25	80	Per grandi altezze vedere punto 4.6.2.
2.6.2	Avvolgimento: - bobine di grandi dimensioni; - bobine di medie dimensioni; - bobine di piccole dimensioni.	300 500 750	25 22 19	80 80 80	Per grandi altezze vedere punto 4.6.2. Per grandi altezze vedere punto 4.6.2. Per grandi altezze vedere punto 4.6.2.
2.6.3	Impregnazione delle bobine	300	25	80	Per grandi altezze vedere punto 4.6.2.
2.6.4	Galvanizzazione	300	25	80	Per grandi altezze vedere punto 4.6.2.
2.6.5	Lavoro di assemblaggio: - grossolano (per esempio grandi trasformatori); - medio (per esempio quadri elettrici); - fine (per esempio telefoni); - di precisione (per esempio attrezzatura di misurazione).	300 500 750 1 000	25 22 19 16	80 80 80 80	Per grandi altezze vedere punto 4.6.2. Per grandi altezze vedere punto 4.6.2.
2.6.6	Laboratorio elettronico, prove, messa a punto	1 500	16	80	
2.7	Generi alimentari e industrie alimentari di lusso				
N° riferimento	Tipo di interno, compito o attività	E_m lx	UGR _L -	R_a -	Note
2.7.1	Posti di lavoro e zone in: - fabbriche di birra, fermentazione del malto; - per lavaggio, riempimento barili, pulizia, setacciamento, sbucciatura; - cottura in fabbriche di conserve e cioccolato; - posti di lavoro e zone di lavoro in zuccherifici; - fermentazione e asciugatura del tabacco, cantine di fermentazione.	200	25	80	
2.7.2	Selezione e lavaggio prodotti, tritatura, miscelatura, confezionamento	300	25	80	
2.7.3	Posti di lavoro e zone critiche in macelli, macellerie, caseifici, mulini, filtraggi in raffinerie dello zucchero	500	25	80	
2.7.4	Taglio e selezione di vegetali e frutta	300	25	80	
2.7.5	Produzione gastronomica, lavori di cucina, produzione sigari e sigarette	500	22	80	
2.7.6	Ispezione di vetri e bottiglie, controllo prodotti, guarnitura, selezione, decorazione	500	22	80	

2.7.7	Laboratori	500	19	80	
2.7.8	Ispezione dei colori	1 000	16	90	$T_{CP} \geq 4\,000\text{ K}$
2.8	Fonderie				
N° riferimento	Tipo di interno, compito o attività	\bar{E}_m lx	UGR _L -	R _a -	Note
2.8.1	Gallerie di manutenzione, sotterranei, ecc.	50	-	20	I colori di sicurezza devono essere riconoscibili.
2.8.2	Piattaforme	100	25	40	
2.8.3	Preparazione delle sabbie	200	25	80	Per grandi altezze vedere punto 4.6.2.
2.8.4	Spogliatoi	200	25	80	Per grandi altezze vedere punto 4.6.2.
2.8.5	Zone di lavoro al cubilotto e al miscelatore	200	25	80	Per grandi altezze vedere punto 4.6.2.
2.8.6	Spazio di colata	200	25	80	Per grandi altezze vedere punto 4.6.2.
2.8.7	Zona di distaffatura	200	25	80	Per grandi altezze vedere punto 4.6.2.
2.8.8	Formatura a macchina	200	25	80	Per grandi altezze vedere punto 4.6.2.
2.8.9	Formatura manuale delle anime	300	25	80	Per grandi altezze vedere punto 4.6.2.
2.8.10	Pressofusione	300	25	80	Per grandi altezze vedere punto 4.6.2.
2.8.11	Costruzione di modelli	500	22	80	Per grandi altezze vedere punto 4.6.2.
2.9	Parrucchieri				
N° riferimento	Tipo di interno, compito o attività	\bar{E}_m lx	UGR _L -	R _a -	Note
2.9.1	Parrucchieri	500	19	90	
2.10	Produzione gioielli				
N° riferimento	Tipo di interno, compito o attività	\bar{E}_m lx	UGR _L -	R _a -	Note
2.10.1	Lavorazione delle pietre preziose	1 500	16	90	$T_{CP} \geq 4\,000\text{ K}$
2.10.2	Produzione gioielli	1 000	16	90	
2.10.3	Costruzione orologi (manuale)	1 500	16	80	
2.10.4	Costruzione orologi (automatica)	500	19	80	
2.11	Lavanderie e tintorie				
N° riferimento	Tipo di interno, compito o attività	\bar{E}_m lx	UGR _L -	R _a -	Note
2.11.1	Raccolta capi, marcatura e smistamento	300	25	80	
2.11.2	Lavaggio e pulizia a secco	300	25	80	
2.11.3	Stiratura, stiratura a vapore	300	25	80	
2.11.4	Ispezione e riparazione	750	19	80	
2.12	Pelle e capi in pelle				
N° riferimento	Tipo di interno, compito o attività	\bar{E}_m lx	UGR _L -	R _a -	Note
2.12.1	Lavori in tino, vasca, fossa	200	25	40	
2.12.2	Scamatura, follatura, tiratura, lucidatura delle pelli	300	25	80	
2.12.3	Lavori di selleria, manifattura scarpe: cucitura, lucidatura, formatura, taglio, foratura	500	22	80	
2.12.4	Selezioneatura	500	22	90	$T_{CP} \geq 4\,000\text{ K}$

prospetto 5.2 Attività industriali ed artigianali (Continua)

2.12.5	Tintura del cuoio (a macchina)	500	22	80	
2.12.6	Controllo qualità	1 000	19	80	
2.12.7	Ispezione dei colori	1 000	16	90	$T_{cp} \geq 4\,000\text{ K}$
2.12.8	Produzione scarpe	500	22	80	
2.12.9	Produzione guanti	500	22	80	
2.13 Lavorazione e trasformazione dei metalli					
N° riferimento	Tipo di interno, compito o attività	E_m lx	UGR _L -	R _a -	Note
2.13.1	Fucinatura libera	200	25	60	
2.13.2	Fucinatura a stampo	300	25	60	
2.13.3	Saldatura	300	25	60	
2.13.4	Lavorazione di macchina grossolana e media: tolleranza $\geq 0,1\text{ mm}$	300	22	60	
2.13.5	Lavorazione di macchina fine: tolleranza $< 0,1\text{ mm}$	500	19	60	
2.13.6	Tracciatura, ispezione	750	19	60	
2.13.7	Laboratorio trafilatura, costruzione tubi, formatura a freddo	300	25	60	
2.13.8	Lavorazione laminati: spessore $\geq 5\text{ mm}$	200	25	60	
2.13.9	Lavorazione fogli: spessore $< 5\text{ mm}$	300	22	60	
2.13.10	Fabbricazione utensili e attrezzi da taglio	750	19	60	
2.13.11	Assemblaggio: - grossolano; - medio; - fine; - di precisione.	200 300 500 750	25 25 22 19	80 80 80 80	Per grandi altezze vedere punto 4.6.2. Per grandi altezze vedere punto 4.6.2. Per grandi altezze vedere punto 4.6.2. Per grandi altezze vedere punto 4.6.2.
2.13.12	Galvanizzazione	300	25	80	Per grandi altezze vedere punto 4.6.2.
2.13.13	Preparazione superfici e verniciatura	750	25	80	
2.13.14	Attrezzi, preparazione sagome e calibri, meccanica di precisione, micromec- canica	1 000	19	80	
2.14 Carta e oggetti di carta					
N° riferimento	Tipo di interno, compito o attività	E_m lx	UGR _L -	R _a -	Note
2.14.1	Preparazione dell'impasto e raffinazione	200	25	80	Per grandi altezze vedere punto 4.6.2.
2.14.2	Fabbricazione e trasformazione della carta, macchine per carta e cartone ondulato, fabbricazione del cartone	300	25	80	Per grandi altezze vedere punto 4.6.2.
2.14.3	Lavori di rilegatura per esempio: piegatura, smistamento, incollaggio, taglio, stampa, cucitura	500	22	80	
2.15 Centrali elettriche					
N° riferimento	Tipo di interno, compito o attività	E_m lx	UGR _L -	R _a -	Note
2.15.1	Impianto alimentazione combustibile	50	-	20	I colori di sicurezza devono essere riconoscibili.
2.15.2	Locale caldaie	100	28	40	
2.15.3	Sala macchine	200	25	80	Per grandi altezze vedere punto 4.6.2.

prospetto 5.2 Attività industriali ed artigianali (Continua)

2.15.4	Locali annessi per esempio: locali pompe, locali condensatori, quadri di controllo interni	200	25	60	
2.15.5	Sale di controllo	500	16	80	1) I quadri di controllo sono spesso verticali. 2) Possono essere necessari apparecchi con regolazione del flusso luminoso. 3) Per lavoro con attrezzature munite di videoterminali vedere punto 4.11.
2.15.6	Dispositivi di controllo esterno	20	-	20	I colori di sicurezza devono essere riconoscibili.
2.16 Stamperie					
N° riferimento	Tipo di interno, compito o attività	E_m lx	UGR _L -	R _a -	Note
2.16.1	Taglio, doratura, stampa in rilievo, lavori su pietra e lastra, macchine da stampa, costruzione matrici	500	19	80	
2.16.2	Selezione fogli e stampa a mano	500	19	80	
2.16.3	Montaggio caratteri, ritocco, litografia	1 000	19	80	
2.16.4	Ispezione dei colori in stampe policrome	1 500	16	90	T _{CP} ≥ 5 000 K
2.16.5	Incisione su acciaio e rame	2 000	16	80	Per la direzionalità vedere punto 4.5.2.
2.17 Laminatoi, lavorazioni ferro e acciaio					
N° riferimento	Tipo di interno, compito o attività	E_m lx	UGR _L -	R _a -	Note
2.17.1	Impianti di produzione senza intervento manuale	50	-	20	I colori di sicurezza devono essere riconoscibili.
2.17.2	Impianti di produzione con intervento manuale occasionale	150	28	40	
2.17.3	Impianti di produzione con intervento manuale continuo	200	25	80	Per grandi altezze vedere punto 4.6.2.
2.17.4	Magazzino di laminati	50	-	20	I colori di sicurezza devono essere riconoscibili.
2.17.5	Fornace	200	25	20	I colori di sicurezza devono essere riconoscibili.
2.17.6	Treno di laminazione, avvolgitori, linea di taglio	300	25	40	
2.17.7	Piattaforme di controllo, quadri di controllo	300	22	80	
2.17.8	Prova, misurazione e controllo	500	22	80	
2.17.9	Gallerie di manutenzione, sezione cinghie, sotterranei, ecc.	50	-	20	I colori di sicurezza devono essere riconoscibili.
2.18 Lavorazione e manifattura tessile					
N° riferimento	Tipo di interno, compito o attività	E_m lx	UGR _L -	R _a -	Note
2.18.1	Zone di lavoro a lato delle vasche di lavaggio, apertura balle	200	25	60	
2.18.2	Cardatura, lavaggio, stiratura, disegno, pettinatura, imbozzimatura, incollaggio, punzonatura cartoni, prefilatura, filatura juta e canapa	300	22	80	
2.18.3	Filatura, ritorcitura, asputura, bobinatura	500	22	80	Impedire gli effetti stroboscopici.
2.18.4	Ordinatura, tessitura, intrecciatura, maglieria	500	22	80	Impedire gli effetti stroboscopici.
2.18.5	Cucitura, maglieria fine, rimagliatura, rammendo	750	22	80	

2.18.6	Disegno manuale, disegno trame	750	22	90	$T_{CP} \geq 4\,000\text{ K}$
2.18.7	Finitura, tintura	500	22	80	
2.18.8	Camera di asciugatura	100	28	60	
2.18.9	Stampaggio automatico	500	25	80	
2.18.10	Annodatura, ispezione della trama, passamaneria	1 000	19	80	
2.18.11	Ispezione colori, controllo fabbricazione	1 000	16	90	$T_{CP} \geq 4\,000\text{ K}$
2.18.12	Rammendo invisibile	1 500	19	90	$T_{CP} \geq 4\,000\text{ K}$
2.18.13	Manifattura cappelli	500	22	80	
2.19	Costruzione veicoli				
N° riferimento	Tipo di interno, compito o attività	\bar{E}_m lx	UGR _L -	R _a -	Note
2.19.1	Carrozzeria e assemblaggio	500	22	80	
2.19.2	Camera di verniciatura, spruzzatura, lucidatura	750	22	80	
2.19.3	Verniciatura: ritocco, ispezione	1 000	19	90	$T_{CP} \geq 4\,000\text{ K}$
2.19.4	Fabbricazione rivestimenti interni (locali occupati)	1 000	19	80	
2.19.5	Ispezione finale	1 000	19	80	
2.20	Lavorazione e manifattura del legno				
N° riferimento	Tipo di interno, compito o attività	\bar{E}_m lx	UGR _L -	R _a -	Note
2.20.1	Processi automatici, per esempio: essiccazione, fabbricazione compensato	50	28	40	
2.20.2	Camere del vapore	150	28	40	
2.20.3	Sega	300	25	60	Impedire gli effetti stroboscopici
2.20.4	Lavori al banco di falegnameria, incolaggio, assemblaggio	300	25	80	
2.20.5	Lucidatura, verniciatura, falegnameria di fantasia	750	22	80	Impedire gli effetti stroboscopici
2.20.6	Lavorazioni su macchine per lavorazione del legno, per esempio: tornitura, scannellatura, sgrossatura, ribassatura, scanalatura, taglio, segatura, cavatura	500	19	80	
2.20.7	Selezione legno per impiallacciatura	750	22	90	$T_{CP} \geq 4\,000\text{ K}$
2.20.8	Intarsio, lavoro di intarsio	750	22	90	$T_{CP} \geq 4\,000\text{ K}$
2.20.9	Controllo qualità, ispezione	1 000	19	90	$T_{CP} \geq 4\,000\text{ K}$

prospetto 5.3 Uffici

3	Uffici				
N° riferimento	Tipo di interno, compito o attività	E_m lx	UGR _L -	R _a -	Note
3.1	Archiviazione, copiatura, ecc.	300	19	80	
3.2	Scrittura, dattilografia, lettura, elaborazione dati	500	19	80	Per lavoro con attrezzature munite di videoterminale vedere punto 4.11.
3.3	Disegno tecnico	750	16	80	
3.4	Postazioni CAD	500	19	80	Per lavoro con attrezzature munite di videoterminale vedere punto 4.11.
3.5	Sale conferenze e riunioni	500	19	80	L'illuminazione dovrebbe essere regolabile.
3.6	Ricezione (reception)	300	22	80	
3.7	Archivi	200	25	80	

prospetto 5.4 Vendita al dettaglio

4	Vendita al dettaglio				
N° riferimento	Tipo di interno, compito o attività	E_m lx	UGR _L -	R _a -	Note
4.1	Zone di vendita	300	22	80	I requisiti di illuminamento E_m e UGR sono determinati dal tipo di negozio.
4.2	Zona delle casse	500	19	80	
4.3	Tavolo imballaggio	500	19	80	

prospetto 5.5 Luoghi pubblici

5.1	Spazi comuni				
N° riferimento	Tipo di interno, compito o attività	E_m lx	UGR _L -	R _a -	Note
5.1.1	Ingressi	100	22	80	UGR solo se applicabile.
5.1.2	Guardaroba	200	25	80	
5.1.3	Sale d'attesa	200	22	80	
5.1.4	Biglietteria	300	22	80	
5.2	Ristoranti e hotel				
N° riferimento	Tipo di interno, compito o attività	E_m lx	UGR _L -	R _a -	Note
5.2.1	Accettazione (reception), cassa, portineria	300	22	80	
5.2.2	Cucina	500	22	80	Dovrebbe esserci una zona di transizione tra la cucina e il ristorante.
5.2.3	Ristorante, sala da pranzo, sala ricevimenti	-	-	80	L'illuminazione dovrebbe essere progettata per creare un'atmosfera appropriata.
5.2.4	Ristoranti self-service	200	22	80	
5.2.5	Buffet	300	22	80	
5.2.6	Sale conferenze	500	19	80	L'illuminazione dovrebbe essere regolabile.
5.2.7	Corridoi	100	25	80	Durante la notte sono accettabili livelli più bassi.

5.3	Teatri, sale di concerto, cinema				
N° riferimento	Tipo di interno, compito o attività	E_m lx	UGR _L -	R _a -	Note
5.3.1	Salotti di prova, spogliatoi	300	22	80	L'illuminazione degli specchi per il trucco deve essere priva di abbagliamento.
5.4	Fiere, padiglioni espositivi				
N° riferimento	Tipo di interno, compito o attività	E_m lx	UGR _L -	R _a -	Note
5.4.1	Illuminazione generale	300	22	80	
5.5	Musei				
N° riferimento	Tipo di interno, compito o attività	E_m lx	UGR _L -	R _a -	Note
5.5.1	Oggetti esposti insensibili alla luce				L'illuminazione è determinata dalle esigenze della mostra.
5.5.2	Oggetti esposti sensibili alla luce				1) L'illuminazione è determinata dalle esigenze della mostra. 2) La protezione contro le radiazioni dannose è di elevata importanza.
5.6	Biblioteche				
N° riferimento	Tipo di interno, compito o attività	E_m lx	UGR _L -	R _a -	Note
5.6.1	Scaffali	200	19	80	
5.6.2	Zona di lettura	500	19	80	
5.6.3	Posti di servizio al pubblico	500	19	80	
5.7	Parcheggi pubblici (coperti)				
N° riferimento	Tipo di interno, compito o attività	E_m lx	UGR _L -	R _a -	Note
5.7.1	Rampe di ingresso/uscita (durante il giorno)	300	25	20	1) Illuminazione a livello suolo. 2) I colori devono essere riconoscibili.
5.7.2	Rampe di ingresso/uscita (durante la notte)	75	25	20	1) Illuminazione a livello suolo. 2) I colori di sicurezza devono essere riconoscibili.
5.7.3	Corsie di circolazione	75	25	20	1) Illuminazione a livello suolo. 2) I colori di sicurezza devono essere riconoscibili.
5.7.4	Zone di parcheggio	75	-	20	1) Illuminazione a livello suolo. 2) I colori di sicurezza devono essere riconoscibili. 3) Un illuminamento verticale elevato aumenta il riconoscimento dei volti delle persone e quindi il senso di sicurezza.
5.7.5	Biglietteria	300	19	80	1) Evitare la riflessione nelle finestre. 2) Evitare l'abbagliamento dall'esterno.

prospetto 5.6 Edifici scolastici

6.1 Asili nido, scuole materne					
N° riferimento	Tipo di interno, compito o attività	E_m lx	UGR _L	R_a	Note
6.1.1	Aule giochi	300	19	80	
6.1.2	Nido	300	19	80	
6.1.3	Aule per lavoro manuale	300	19	80	
6.2 Locali scolastici					
N° riferimento	Tipo di interno, compito o attività	E_m lx	UGR _L	R_a	Note
6.2.1	Aule scolastiche	300	19	80	L'illuminazione dovrebbe essere regolabile.
6.2.2	Aule per corsi serali e per adulti	500	19	80	L'illuminazione dovrebbe essere regolabile.
6.2.3	Sale lettura	500	19	80	L'illuminazione dovrebbe essere regolabile.
6.2.4	Lavagna	500	19	80	Evitare le riflessioni speculari.
6.2.5	Tavolo per dimostrazioni	500	19	80	In sale lettura 750 lx.
6.2.6	Aule educazione artistica	500	19	80	
6.2.7	Aule educazione artistica in scuole d'arte	750	19	90	$T_{cp} \geq 5\,000\text{ K}$
6.2.8	Aule per disegno tecnico	750	16	80	
6.2.9	Aule per educazione tecnica e laboratori	500	19	80	
6.2.10	Aule lavori artigianali	500	19	80	
6.2.11	Laboratorio di insegnamento	500	19	80	
6.2.12	Aule di pratica della musica	300	19	80	
6.2.13	Laboratori di informatica	300	19	80	Per lavoro con attrezzature munite di videoterminale vedere punto 4.11.
6.2.14	Laboratori linguistici	300	19	80	
6.2.15	Aule di preparazione e officine	500	22	80	
6.2.16	Ingressi	200	22	80	
6.2.17	Zone di circolazione, corridoi	100	25	80	
6.2.18	Scale	150	25	80	
6.2.19	Sale comuni per gli studenti e aula magna	200	22	80	
6.2.20	Sale professori	300	19	80	
6.2.21	Biblioteca: scaffali	200	19	80	
6.2.22	Biblioteca: zone di lettura	500	19	80	
6.2.23	Magazzini materiale didattico	100	25	80	
6.2.24	Palazzetti, palestre, piscine (uso generale)	300	22	80	Per attività più specifiche devono essere utilizzati i requisiti della EN 12193.
6.2.25	Mensa	200	22	80	
6.2.26	Cucina	500	22	80	

7.1	Locali di uso generale				
N° riferimento	Tipo di interno, compito o attività	\bar{E}_m lx	UGR _L -	R _a -	Note
7.1.1	Sale d'attesa	200	22	80	Tutti gli illuminamenti a livello pavimento.
7.1.2	Corridoi: durante il giorno	200	22	80	
7.1.3	Corridoi: durante la notte	50	22	80	
7.1.4	Sale giorno (Day room)	200	22	80	
7.2	Locali per il personale				
N° riferimento	Tipo di interno, compito o attività	\bar{E}_m lx	UGR _L -	R _a -	Note
7.2.1	Ufficio per il personale	500	19	80	
7.2.2	Stanze per il personale	300	19	80	
7.3	Corsie, reparti maternità				
N° riferimento	Tipo di interno, compito o attività	\bar{E}_m lx	UGR _L -	R _a -	Note
7.3.1	Illuminazione generale	100	19	80	Evitare luminanze troppo elevate nel campo visivo dei pazienti. Illuminamento a livello pavimento.
7.3.2	Illuminazione di lettura	300	19	80	
7.3.3	Visita semplice	300	19	80	
7.3.4	Visita e trattamento	1 000	19	90	
7.3.5	Luce notturna, luce di sorveglianza	5	-	80	
7.3.6	Bagni, toilette per pazienti	200	22	80	
7.4	Locali diagnostici (generale)				
N° riferimento	Tipo di interno, compito o attività	\bar{E}_m lx	UGR _L -	R _a -	Note
7.4.1	Illuminazione generale	500	19	90	
7.4.2	Visita e trattamento	1 000	19	90	
7.5	Locali per visite oculistiche				
N° riferimento	Tipo di interno, compito o attività	\bar{E}_m lx	UGRL -	R _a -	Note
7.5.1	Illuminazione generale	300	19	80	
7.5.2	Visita esterna dell'occhio	1 000	-	90	
7.5.3	Test di lettura e visione dei colori su pannelli	500	16	90	
7.6	Locali per visite otorinolaringoiatriche				
N° riferimento	Tipo di interno, compito o attività	\bar{E}_m lx	UGR _L -	R _a -	Note
7.6.1	Illuminazione generale	300	19	80	
7.6.2	Visita orecchio	1 000	-	90	
7.7	Locali analisi				
N° riferimento	Tipo di interno, compito o attività	\bar{E}_m lx	UGR _L -	R _a -	Note
7.7.1	Illuminazione generale	300	19	80	
7.7.2	Analisi con amplificatore di immagini e sistemi televisivi	50	19	80	Per lavoro con attrezzature munite di videoterminale vedere punto 4.11.

prospetto 5.7 Edifici di cura (Continua)

7.8	Sale parto				
N° riferimento	Tipo di interno, compito o attività	\bar{E}_m lx	UGR _L	R _a	Note
7.8.1	Illuminazione generale	300	19	80	
7.8.2	Visita e trattamento	1 000	19	80	
7.9	Locali di cura (generale)				
N° riferimento	Tipo di interno, compito o attività	\bar{E}_m lx	UGR _L	R _a	Note
7.9.1	Dialisi	500	19	80	L'illuminazione dovrebbe essere regolabile.
7.9.2	Dermatologia	500	19	90	
7.9.3	Endoscopia	300	19	80	
7.9.4	Ingessatura	500	19	80	
7.9.5	Bagni medicali	300	19	80	
7.9.6	Massaggio e radioterapia	300	19	80	
7.10	Sale operatorie				
N° riferimento	Tipo di interno, compito o attività	\bar{E}_m lx	UGR _L	R _a	Note
7.10.1	Locale pre-operatorio e risveglio	500	19	90	
7.10.2	Sala operatoria	1 000	19	90	
7.10.3	Zona operatoria				\bar{E}_m : da 10 000 lx a 100 000 lx
7.11	Rianimazione e cure intensive				
N° riferimento	Tipo di interno, compito o attività	\bar{E}_m lx	UGR _L	R _a	Note
7.11.1	Illuminazione generale	100	19	90	A livello del pavimento.
7.11.2	Visita semplice	300	19	90	A livello del letto.
7.11.3	Visita e trattamento	1 000	19	90	A livello del letto.
7.11.4	Sorveglianza notturna	20	19	90	
7.12	Odontoiatria				
N° riferimento	Tipo di interno, compito o attività	\bar{E}_m lx	UGR _L	R _a	Note
7.12.1	Illuminazione generale	500	19	90	L'illuminamento sul paziente dovrebbe essere esente da abbagliamento.
7.12.2	Sul paziente	1 000	-	90	
7.12.3	Zona operatoria	5 000	-	90	Valori maggiori di 5 000 lx quando richiesto.
7.12.4	Allineamento al colore dei denti	5 000	-	90	T _{CP} ≥ 6 000 K
7.13	Laboratori e farmacie				
N° riferimento	Tipo di interno, compito o attività	\bar{E}_m lx	UGR _L	R _a	Note
7.13.1	Illuminazione generale	500	19	80	
7.13.2	Ispezione colori	1 000	19	90	T _{CP} ≥ 6 000 K
7.14	Locali di decontaminazione				
N° riferimento	Tipo di interno, compito o attività	\bar{E}_m lx	UGR _L	R _a	Note
7.14.1	Locali di sterilizzazione	300	22	80	
7.14.2	Locali di disinfezione	300	22	80	

prospetto 5.7 Edifici di cura (Continua)

7.15	Locali per autopsia e camera mortuaria				
N° riferimento	Tipo di interno, compito o attività	\bar{E}_m lx	UGR _L -	R _a -	Note
7.15.1	Illuminazione generale	500	19	90	
7.15.2	Tavolo per autopsia e dissezione	5 000	-	90	Valori maggiori di 5 000 lx quando richiesto.

prospetto 5.8 Trasporti

8.1	Aeroporti				
N° riferimento	Tipo di interno, compito o attività	\bar{E}_m lx	UGR _L -	R _a -	Note
8.1.1	Sale di arrivo e partenza, zone ritiro bagagli	200	22	80	Per grandi altezze vedere punto 4.6.2.
8.1.2	Zone di collegamento, scale e tappeti mobili	150	22	80	
8.1.3	Banchi informazioni, accettazione	500	19	80	Per lavoro con attrezzature munite di videoterminale vedere punto 4.11.
8.1.4	Dogana e controllo passaporti	500	19	80	L'illuminamento verticale è importante.
8.1.5	Sale attesa	200	22	80	
8.1.6	Deposito bagagli	200	25	80	
8.1.7	Zone controllo di sicurezza	300	19	80	Per lavoro con attrezzature munite di videoterminale vedere punto 4.11.
8.1.8	Torre di controllo traffico aereo	500	16	80	1) L'illuminazione dovrebbe essere regolabile. 2) Per lavoro con attrezzature munite di videoterminale vedere punto 4.11. 3) L'abbagliamento da luce diurna deve essere evitato. 4) Evitare la riflessione sulle finestre, specialmente durante la notte.
8.1.9	Hangar per le riparazioni ed i controlli	500	22	80	Per grandi altezze vedere 4.6.2.
8.1.10	Zone controllo motori	500	22	80	Per grandi altezze vedere 4.6.2.
8.1.11	Zone di misurazione all'interno degli hangar	500	22	80	Per grandi altezze vedere 4.6.2.
8.2	Stazioni				
N° riferimento	Tipo di interno, compito o attività	\bar{E}_m lx	UGR _L -	R _a -	Note
8.2.1	Banchine e sottopassi passeggeri	50	28	40	
8.2.2	Atrii e sportelli	200	28	40	
8.2.3	Biglietteria, deposito bagagli, cassa	300	19	80	
8.2.4	Sale attesa	200	22	80	

Bibliografia

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI PRINCIPALI

- [1] IOVINO R., FASCIA F., *La struttura in cemento armato per l'architettura tecnica e tecnologia*, Aracne Editore, Roma, 2008.
- [2] GOVERNO ITALIANO. *NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI*, D.M. 14 gennaio 2008
- [3] IOVINO R., FASCIA F. *La prevenzione incendi nell'architettura*, Aracne Editore, Roma, 2009.
- [4] GIANNI FORCOLINI, Hoepli 2010, "Illuminazione led".
- [5] MAGGIOLI EDITORE 2011, "Illuminazione d'interni".
- [6] LUONI GIANLUCA, Sandit 2011, "Rivoluzione illuminante: le lampade a led".
- [7] AA.VV. Tecniche nuove 2010, "Manuale illustrato per l'impianto illuminotecnico"
- [8] BELLIA-DI MARTINO-SPADA, Aracne 2010, "La simulazione illuminotecnica con radianze mediante ecotec. Illuminazione di una chiesa di interesse storico artistico"
- [9] PISANI., 2008, *Consolidamento delle strutture*, Hoepli, Milano.
- [10] DE SETA, DI MAURO, PERONE, 1980, *Ville Vesuviane*, Rusconi, Milano.
- [11] Direttiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 16 dicembre 2002 sul rendimento energetico nell'edilizia
- [12] Legge 9 gennaio 1991, n. 10 "Norme per l'attuazione del Piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia"
- [13] D. Lgs. 31 marzo 1998, n. 112 "Conferimento di funzioni e testimoni amministrativi dello Stato alle regioni ed agli enti locali, in attuazione del capo I della L. 15 marzo 1997, n. 59"
- [14] D. Lgs. 19 agosto 2005 n. 192 "Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia"
- [15] D. Lgs. 29 dicembre 2006 n. 311 "Disposizioni correttive ed integrative al decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 292, recante attuazione della direttiva 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico nell'edilizia"
- [16] D.P.R. 2 aprile 2009 n.59 "Regolamento di attuazione dell'articolo 4, comma 1, lettera a) e b), del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, concernente attuazione della direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico in edilizia"
- [17] D.M. 26 giugno 2006 "Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici"
- [18] D.Lgs. 30 maggio 2008 n.115 "Attuazione della direttiva 2006/32/CE relativa all'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici e abrogazione della direttiva 93/76/CEE"
- [19] Norma UNI EN 12464
- [20] Norma UNI 13201-1/2/3/4
- [21] Norma UNI 11248

Non ringrazierò mai abbastanza tutte le persone che mi hanno sostenuto in questi anni nel mio nuovo percorso di studi...

Un pensiero...

Ai Ch.mo Prof. Mario Pasquino, che ha creduto in me e che mi ha accolto come una figlia sostenendomi in questi anni, vanno i miei primi e più sinceri ringraziamenti...

Ai Ch.mi Prof. Renato Iovino e Prof. Flavia Fascia che mi hanno dato la possibilità di far parte del loro team accogliendomi con fiducia ed aprendomi uno spazio “nella famiglia universitaria” grazie alla quale sono cresciuta tra mille esperienze affidatemi...

A Giovanni e Fabio con cui ho condiviso non solo questi ¾ anni di lavoro e studio “matto e disperatissimo” ma anche una fantastica amicizia che ci ha portato a condividere tanti aspetti della vita quotidiana e della vita in generale e grazie ai quali ho scoperto, per me che sono figlia unica, che cosa voglia dire avere vicino “due fratelli”...

A Nonna Maria che per me è, ed è sempre stata, una seconda madre e che con la sua saggezza mi ha aperto gli occhi sugli aspetti importanti della vita...

Agli amici di sempre (Lucia – Ilaria Cuomo – Ilaria Perna – Valentina e Stefano) che mi hanno incoraggiato nel corso degli anni a proseguire credendo nelle mie capacità e spingendomi a perseverare nelle mie scelte dopo un periodo non semplice della mia vita...

A Rory che con la particolarità che lo contraddistingue, credendo nelle mie capacità, mi ha incentivato nel mio percorso sostenendomi durante i giorni...

A Vittorio e Valeria (alias Gianni e Gianni) e ad un'amicizia divertente che ci ha accompagnato in questi anni di università fatta purtroppo di incontri sporadici ma sempre sinceri e soprattutto ricchi di divertimento e simpatia...

A Paola e Chiara e alla nostre uscite a tre che non dimenticherò mai perché animate da spensieratezza e da semplice e serena amicizia con cui ho condiviso gran parte delle mie giornate universitarie in questi tre anni...

Ai miei colleghi Nunzio, Tonia, Davide, Peppe e Virginia che mi hanno fatto affacciare al mondo dell'illuminotecnica facendo nascere la mia passione alla materia trattata nel presente studio...

A Giovanni Pisanti, Paolo Fabozzi e Vincenzo Landi con cui ho trascorso piacevoli ore in team di studio e lavoro con spensieratezza ed allegria...

Ai miei amici e soci Lions con cui in questi anni ho condiviso in veste di Presidente l'onore di tante iniziative in campo benefico e di studio...

A Zio Franco, Zio Tony e Zia Mario che con un pensiero, un libro, una telefonata ed un gesto gentile mi hanno fatto sentire la loro affettuosa vicinanza...

Ai ragazzi dei corsi di Architettura tecnica e Prevenzione incendi e soprattutto a Fabrizio Aprea, Giovanni Montefusco, Diana D'Agostino, Ciro Capobianco, Francesco Papino, ecc., ecc., che, sia alla Federico II, che in Accademia Aeronautica sono stati un piacevole incentivo per approfondire i miei studi sulle materie trattate in questi anni...

Potrei inoltre raccontare mille aneddoti che hanno fatto diventare tale percorso piacevole come Gli appelli di esame fatti da me e dall'Ing. Sannino con prenotati in elenco dai ragazzi "tutti i professori della facoltà"... o le care allieve che un giorno mi hanno portato stampato un particolare di una tamponatura in scala 1:1...o le fantastiche cene di natale a casa del Prof. Iovino,...o le cene della Festa del Carmine a casa della Prof. Fascia...ed ancora...il saluto dei ragazzi militari dell'Accademia Aeronautica che mi dicevano ... Architetto quando state qui, su suolo militare, siete Maggiore dell'Esercito...o le giornate trascorse allo studio del PEC di Salerno...

....sono solo poche esperienze citate ma che mi hanno fatto vivere degli anni di studio e lavoro indimenticabile.

A me stessa perché con la mia forza di volontà e soprattutto con la mia tenacia ho cercato di prendere a piene mani il massimo da questa bellissima esperienza di vita che si chiama...

..... Dottorato di Ricerca.